



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO SUMAPAZ (COD. 2119), LOCALIZADA EN LOS DEPARTAMENTOS DE CUNDINAMARCA Y TOLIMA



FASE DE DIAGNÓSTICO

03. CARACTERIZACIÓN FÍSICO – BIÓTICA

3.1. GEOLOGÍA



TABLA DE CONTENIDO.

3.1. GEOLOGÍA	10
3.1.1. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA	10
3.1.2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	12
3.1.3. ESTRATIGRAFÍA	15
3.1.3.1. Unidades del cretácico	15
3.1.3.1.1. Grupo Villeta (Kv)	15
3.1.3.1.2. Formación Chipaque (Ksch)	16
3.1.3.1.3. Formación Conejo (Kscn)	16
3.1.3.1.4. Formación La Frontera (Ksf)	16
3.1.3.1.5. Grupo Olini (Kso)	16
3.1.3.1.6. Formación La Tabla (Kslt)	17
3.1.3.1.7. Grupo Guadalupe (Ksg)	17
3.1.3.1.8. Formación Guaduas (KPggg)	17
3.1.3.1.9. Formación Seca (KPgs)	18
3.1.3.2. Unidades del Terciario	18
3.1.3.2.1. Formación Barzalosa (Pgba)	18
3.1.3.2.2. Lodolitas de Fusagasugá (Pgf)	18
3.1.3.2.3. Conglomerados de Carmen de Apicalá (Pgca)	19
3.1.3.2.4. Grupo Honda (Ngh)	19
3.1.3.3. Depósitos Cuaternarios	19
3.1.3.3.1. Terrazas altas (Qta)	19
3.1.3.3.2. Depósitos aluviales (Qal)	19
3.1.3.3.3. Depósitos Fluvioglaciares (Qf)	20
3.1.3.3.4. Terrazas Bajas (Qtb)	20
3.1.3.3.5. Depósitos de Morrena (Qm)	20
3.1.3.3.6. Coluviones (Qco)	20
3.1.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL	21
3.1.4.1. Fallas	21
3.1.4.1.1. Sistema de Fallas de Nebraska	21
3.1.4.1.2. Falla de Fusagasugá	21
3.1.4.1.3. Falla de La Cajita	21
3.1.4.1.4. Falla de Suárez	21
3.1.4.1.5. Falla de Cunday	21
3.1.4.1.6. Sistema de Fallas del Quininí	21
3.1.4.1.7. Sistema de Fallas de Venecia – El Consuelo	22
3.1.4.1.8. Fallas El Porvenir y Altamisal	22

3.1.4.1.9. Sistema de Fallas de Paquiló	22
3.1.4.1.10. Falla de Tasajeras.....	22
3.1.4.2. Pliegues.....	22
3.1.4.2.1. Sinclinal de Fusagasugá	22
3.1.4.2.2. Sinclinal de Carmen de Apicalá	22
3.1.4.2.3. Sinclinal de Prado	23
3.1.4.2.4. Sinclinal de San Juan.....	23
3.1.4.2.5. Anticlinal de Los Frailes	23
3.1.4.2.6. Anticlinal de Pueblo Viejo.....	23
3.1.4.2.7. Sinclinal de Cabrera.....	23
3.1.5. GEOLOGÍA LOCAL.....	24
3.1.5.1. Metodología.....	24
3.1.5.1.1. Fase de pre-campo.....	24
3.1.5.1.2. Fase de campo	28
3.1.5.1.3. Fase de Post - campo.....	30
3.1.6. ESTRATIGRAFÍA.....	32
3.1.6.1. Cretácico (K).....	32
3.1.6.1.1. Formación Chipaque (K2cp)	32
3.1.6.1.2. Grupo Villeta (K1k2v)	34
• Formación Conejo (K2c).....	34
3.1.6.1.3. Grupo Guadalupe (K2g)	35
• Formación Arenisca Dura (K2d)	35
• Formación Pleaners (K2p).....	36
• Formación Labor y Tierna (K2t).....	37
3.1.6.1.4. Grupo Olini (K2o)	38
• Formación Lidita Inferior (K2li)	39
• Formación Olini Medio (K2om).....	40
• Formación Lidita Superior (K2ls)	41
3.1.6.1.5. Formación La Tabla (K2lt).....	42
3.1.6.1.6. Formación Guaduas (K2E1g)	43
3.1.6.1.7. Formación Seca (K2E1s)	44
3.1.6.2. Unidades del Paleogeno (E)	45

3.1.6.2.1. Formación Cacho (E1c)	45
3.1.6.2.2. Formación Bogotá (E1b)	46
3.1.6.2.3. Lodolitas de Fusagasugá (E2f)	47
3.1.6.2.4. Formación Barzalosa (E3b)	48
3.1.6.2.5. Conglomerados de Carmen de Apicalá (E3n1cca)	49
3.1.6.3. Unidades del Neogeno (N)	50
3.1.6.3.1. Grupo Honda (N1h).....	50
3.1.6.4. Unidades del Cuaternario (Q)	52
3.1.6.4.1. Depósitos de Morrenas (Q1m)	52
3.1.6.4.2. Depósitos Fluvio-glaciares (Q1f)	53
3.1.6.4.3. Depósitos De Abanico Fluvio-torrenciales (Q1aft).....	54
3.1.6.4.4. Terrazas aluviales altas (Q1t)	55
3.1.6.4.5. Depósitos Coluviales antiguos (Q1c)	55
3.1.6.4.6. Terrazas aluviales bajas (Q2tb)	56
3.1.6.4.7. Depósitos Aluvio Torrenciales (Q2alt).....	56
3.1.6.4.8. Depósitos aluviales recientes (Q2al)	57
3.1.6.4.9. Depósitos aluviales activos (Q2ala)	57
3.1.6.4.10. Depósitos Coluviales recientes (Q2c)	57
3.1.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	58
3.1.7.1. Fallas	59
3.1.7.1.1. Falla la Cajita	59
3.1.7.1.2. Falla Fusagasugá-Aguadita	59
3.1.7.1.3. Falla Silvania.....	60
3.1.7.1.4. Sistema de Fallas Quininí	60
3.1.7.1.5. Sistema de Fallas el Páramo	61
3.1.7.1.6. Sistema de Fallas de Venecia.....	61
3.1.7.2. Pliegues.....	62
3.1.7.2.1. Anticlinal de Cumaca	62
3.1.7.2.2. Anticlinal de Mundo Nuevo	62
3.1.7.2.3. Anticlinal de Pueblo Viejo.....	62
3.1.7.2.4. Sinclinal de Balconcitos	63
3.1.7.2.5. Sinclinal de Cabrera.....	63
3.1.7.2.6. Sinclinal de Carmen de Apicalá	63
3.1.7.2.7. Sinclinal de San Juan.....	64
3.1.8. GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA (UGS)	65
3.1.8.1. Metodología.....	65
3.1.8.1.1. Fase de pre-campo.....	65
3.1.8.1.2. Fase de campo	68

3.1.8.1.3. Fase post-campo	73
3.1.9. UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)	73
3.1.9.1. Perfil de meteorización	75
3.1.9.2. Índice Geológico de Resistencia (G.S.I.).....	76
3.1.9.3. Dureza y resistencia de los materiales	77
3.1.9.4. Valor de la Pendiente	77
3.1.9.5. Análisis de la exploración	79
3.1.9.6. Nomenclatura unidades UGS.....	80
3.1.9.6.1. Nomenclatura para unidades de Roca	80
3.1.9.6.2. Nomenclatura para unidades de Suelo	81
3.1.9.6.3. Unidades Geológicas Superficiales – UGS en la cuenca Río Sumapaz	84
3.1.10. AMENAZA VOLCANICA	90
3.1.10.1. LOCALIZACIÓN DE VOLCANES EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	90
3.1.10.1.1. Volcán Cerro Machín	90
3.1.10.2. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA VOLCÁNICA	92
3.1.10.3. ANÁLISIS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	94
3.1.11. AMENAZA SISMICA	96
3.1.11.1. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA	96
3.1.11.2. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	96
3.1.11.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO	97
3.1.11.4. VULNERABILIDAD	101

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Unidades geológicas mapa geológico escala 1:100.000. Fuente: SGC (2017)	15
Tabla 2. Lista de fotos aéreas utilizadas en la fotointerpretación. Fuente: IGAC, 2018	25
Tabla 3. Unidades geológicas mapa geológico escala 1:100.000. Fuente: SGC (2017)	32
Tabla 4. Unidades geológicas superficiales según su origen. Fuente: (SGC 2017).	73
Tabla 5. Relacion de unidades de roca con valores del GSI. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	74
Tabla 6. Perfil de meteorización utilizado para agrupar los maeriales geológicos en el mapa de unidades geológicas superficiales. Fuente: Dearman (1974, 1991)	75
Tabla 7. Terminología para describir la dureza o consistencia de las rocas. Fuente: INGEOMINAS, 2004.	77
Tabla 8. Categorización de la pendiente propuesta para la clasificación de UGS. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	78
Tabla 9. Clasificación de las unidades geológicas de roca de acuerdo a su dureza y parámetros principales. Fuente: INGEOMINAS, 2004.	81
Tabla 10. Nomenclatura para materiales superficiales (UGS).	82
Tabla 11 Nomenclatura sugeridas para las Unidades Geológicas Ingenieriles (UGI).	83
Tabla 12. Clasificación genética de las unidades de suelo. Fuente Tomado y adaptado de Minambiente Minhacienda & Fondo de Adaptación, 2014	84
Tabla 13. Unidades Geológicas Superficiales dentro de la cuenca del río Sumapaz.	86
Tabla 14. Generalidades- volcán cerró Machín. Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2018).	91
Tabla 15. Distribución municipal amenaza volcánica. Fuente: GEOCING S.A.S	94
Tabla 16. Registro histórico de sismos en la cuenca del río Sumapaz. Fuente: Red Sismológica Nacional de Colombia, 2019	98
Tabla 17. Grados de amenaza en función de la aceleración horizontal máxima – PGA.	99

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Esquema tectonosedimentario Planchas 245 Girardot y 246 Fusagasugá	12
Figura 2. Mapa de geología Regional escala 1:100.000. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018.	14
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología empleada en la fotointerpretación ...	25
Figura 4. Localización de las líneas de vuelo utilizadas en el proceso de fotointerpretación.....	27
Figura 5. Localización puntos de control en campo teniendo en cuenta las cuatro zonas	29
Figura 6. Mapa de geología básica con fines de ordenación de la cuenca del río Sumapaz escala 1:25.000. GEOCING S.A.S, 2018.	31
Figura 7. A. Afloramientos de la Formación Chipaque (K2cp) Vereda Juan XIII, municipio de Pasca. B. Afloramiento por derrumbe en la vereda Paquilo, municipio de Cabrera. C. Bloque extraído con presencia de fósiles. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	34
Figura 8. Panorámica de la Formación Conejo (K2c) en contacto con la Formación Lidita Inferior (K2li) en la vereda Malachí, municipio de Agua de Dios. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018.....	35
Figura 9. Afloramiento de la formación Arenisca Dura (K2d) sobre la vía que del municipio de San Bernardo conduce al municipio de Pandi en la margen izquierda, en la vereda La Virgen. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	36
Figura 10. Afloramiento de la formación Pleaners (K2p) en la vereda Cualamaná, Melgar, límite con el municipio de Icononzo. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018.....	37
Figura 11. Afloramientos de la Formación Labor y Tierna (K2t): A. sobre la vía que del municipio de Pandi conduce al municipio de Icononzo. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	38
Figura 12. Afloramiento del Grupo Olini (K2o) en la vía que del municipio de Melgar conduce al municipio de Icononzo, sobre la vereda Águila Alta del municipio de Melgar. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	39
Figura 13. Afloramiento de la Formación Lidita Inferior (K2li) en la vía que del municipio de Cunday conduce al municipio de Icononzo, en la vereda Siberia. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	40
Figura 14. Afloramiento de la Formación Olini Medio (K2om) en la vía Cunday - Carmen de Apicalá, en la vereda Siberia. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	41

Figura 15. Afloramiento de la Formación Lidita Superior (K2ls) en la vía Pueblo Nuevo – Cumaca Vereda los Mentos. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	42
Figura 16. Afloramiento de la Formación La Tabla (K2lt) en la vía que de Melgar conduce a Agua de Dios vereda El Callejón. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	43
Figura 17. Afloramiento de la Formación Guaduas (K2E1g) en la vereda Alto Ariari del municipio de Cabrera. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	44
Figura 18. Afloramiento de la formación Seca (K2E1s) en la vereda La Primavera en la vía que de Nilo conduce a Bellavista. Cantera abandonada. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	45
Figura 19. Afloramiento de la Formación Cacho (E1c) vía Pasca - Media Naranja, sobre la vereda Bradamonte, Pasca. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	46
Figura 20. Panorámica formación Bogotá (E1b) en la vía Sibaté-Pasca, desde la vereda Bradamonte, Pasca.	47
Figura 21. Afloramiento de la Formación Lodolitas de Fusagasugá (E2f) en la Vereda Quebrada Honda, municipio de Silvania. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	48
Figura 22. Panorámica de la Formación Barzalosa (E3b) con sus capas subhorizontales y suelos residuales que genera, en la vereda la Sonora sobre el municipio de Nilo. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018.	49
Figura 23. Panorámica de los Conglomerados de Carmen de Apicalá (E3N1cca) en la vereda Mortino, del municipio Carmen de Apicalá. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	50
Figura 24. Afloramiento del Grupo Honda (N1h) en la vereda El Paso, Ricaurte	52
Figura 25. Diagrama de flujo metodología fase pre-campo	65
Figura 26. Mapa cualitativo o de fotointerpretación para UGS	67
Figura 27. Diagrama de flujo de la metodología empleada en la fase de campo	68
Figura 28. Zonas de trabajo cuenca rio Sumapaz, y localización de estaciones de campo.....	70
Figura 29. Exploración del subsuelo en la cuenca del rio Sumapaz.....	72
Figura 30. Factor G.S.I para Macizos Rocosos. Fuente: Gonazález de Vallejo (2002)	76
Figura 31. Perfil esquemático de una ladera y la relación entre la forma y los procesos morfodinámicos generados- Fuente: INGEOMINAS, 2004	78
Figura 32. Gráfica de plasticidad de USCS. Fuente: Tomado de Ingeniería Blog, 2019	79

Figura 33. Sondeo 121. A. Trabajadores extrayendo muestra. B. Muestra recuperada a 7 m de profundidad.....	80
Figura 34 Ejemplo de nomenclatura para una unidad geológica superficial correspondiente a un macizo rocoso de la Formación Guaduas. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018	80
Figura 35. Ejemplo de nomenclatura de la unidad Suelo Transportado de Abanicos Fluviotorrenciales	83
Figura 36. Mapa de unidades superficiales a escala 1.25.000	85
Figura 37. Volcán Cerro Machín.....	91
Figura 38. Ubicación volcán nevado del Tolima y Cerro Machín.....	92
Figura 39. Zonificación de la amenaza Potencial del Volcán Cerro Machín y El Nevado del Tolima en la cuenca del Río Sumapaz. Fuente: GEOCING S.A.S	93
Figura 40. Amenaza Volcánica Cuenca Río Sumapaz	95
Figura 41. Zonificación sísmica de la cuenca del rio Sumapaz	100
Figura 42. Zonificación sísmica, intensidad esperada en la cuenca del rio Sumapaz	100
Figura 43. Zonificación sísmica, intensidad máxima observada en la cuenca del rio Sumapaz.	101

3.1. GEOLOGÍA

3.1.1. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

Se puede considerar el Triásico como punto de partida de la historia geológica de la cuenca del río Sumapaz, aun cuando no existen rocas aflorantes con esta edad. Al tratarse de un área tan extensa, la configuración tectónica para el momento de depositación de las unidades generó algunas variaciones entre el costado oriental y el costado occidental de la cuenca tal como se observa en la Figura 1. Por tal motivo se especificará a que sector pertenece cada una de estas unidades.

Para el Triásico-Jurásico no existe registro sedimentario en la cuenca del río Sumapaz, no obstante, durante esta época fue cuando se registró el fallamiento normal en las rocas del Paleozoico bajo un ambiente tectónico de retro arco, proceso extensional que generó una compleja red de bloques levantados y hundidos, los cuales pueden explicar los cambios faciales y de espesor en las rocas que se depositaron encima de esta paleotopografía, observables en algunos sectores de la Cordillera Oriental (INGEOMINAS, 2002c).

La sedimentación para esta zona comienza en el Albiano Inferior al iniciar el avance del mar Cretácico, depositándose la parte inferior de la Formación Caballos al occidente y la Formación Une al oriente, la primera unidad nombrada se encuentra fuera del área de la cuenca de interés. En ambos sectores la sucesión sedimentaria es seguida por una acumulación de sedimentos terrígenos finos en una plataforma externa a media, representada por la Formación Chipaque en la parte oriental y el Grupo Villeta en la parte occidental, unidades que se depositaron en fondos cada vez más profundos con su cúspide en el Turoniano.

Posteriormente, se produce una regresión pasando de plataforma exterior a plataforma media a interna, lo cual se manifiesta en el cambio transicional de la sedimentación terrígena fina a una clástica más gruesa, de un mar siliciclástico somero, donde se depositaron las arenas de cuarzo del Grupo Guadalupe hacia el oriente y el Grupo Olini más la Formación la Tabla hacia el occidente, entre el Coniaciano tardío y parte del Maastrichtiano. A partir de este momento, finales del Cretácico y Paleoceno, se reconoce la influencia del proceso de acreción de la cordillera occidental (colisión de arco volcánico en el margen noroccidental de Suramérica) en el cambio de las características de sedimentación en la cordillera oriental, presentando facies con influencia más continental como las de llanuras costeras y aluviales en las que se depositó la Formación Guaduas en la parte oriental y la Formación Seca en la occidental, reconocidas como la misma unidad.

A finales del Paleoceno e inicio del Eoceno se acumularon sedimentos en un ambiente fluvial meandriforme y de llanuras de inundación correspondientes a la Formación Bogotá, para luego generarse un levantamiento tectónico de la cuenca hasta el Eoceno Medio, producido por la inversión de las fallas normales de la cuenca. Durante este levantamiento, se generaron a la vez procesos erosivos sobre las unidades existentes y la depositación de las Lodolitas de Fusagasugá y los Conglomerados de

Carmen de Apicalá, en un ambiente de ríos meandriformes y ríos trenzados. Igualmente, para la región del Valle Superior del Magdalena la Formación Barzalosa representa estos depósitos.

A principios del Mioceno se inicia una época de vulcanismo alcalino en la Cordillera Central, la cual produjo gran cantidad de material depositado en ríos meandriformes dando origen al Grupo Honda. Dichos depósitos se ubicaron rellenando valles pre-existentes en ese momento, y fosilizando algunas de las fallas presentes. Estas fallas fueron reactivadas posteriormente durante el levantamiento más intenso de la Cordillera Oriental (finales del Neógeno) (INGEOMINAS, 2002c).

Para la región central de la cuenca, no se cuenta con registro litológico en el lapso Eoceno Superior-Pleistoceno Medio a Superior, es decir suprayaciendo a las Lodolitas de Fusagasugá, lo que supone dos posibilidades, tanto la no depositación como la depositación y erosión posterior, siendo la segunda más factible, debido a la presencia de unidades de estas edades en regiones adyacentes, específicamente, las formaciones Regadera, Usme y Tilatá, de edad Eoceno a Plio-Pleistoceno, las cuales afloran hacia el norte por fuera de la cuenca del río Sumapaz. Este levantamiento y erosión estaría acompañado de intenso fallamiento y plegamiento a lo largo de toda la cuenca.

Durante el Holoceno, por actividad del volcán Machín, localizado sobre la Cordillera Central, se originan los abanicos de Espinal (que ocupa un sector reducido en el noroccidente de la cuenca) y Guamo, lo cual da una idea de la magnitud de los efectos de dicha actividad volcánica. Finalmente, por acción de los agentes modeladores del relieve (incluida la intervención antrópica), este sector del área de la cuenca adquiere la configuración topográfica que muestra en la actualidad (INGEOMINAS, 2001).

Durante el Cuaternario algunos sectores fueron afectados por las glaciaciones del Pleistoceno cuya evidencia se aprecia por la presencia de círculos glaciares, valles en U y depósitos de morrenas. Finalmente, para el Holoceno las corrientes de los ríos acumularon sedimentos aluviales, de terrazas generando flujos fluvioglaciares (INGEOMINAS, 2002c).

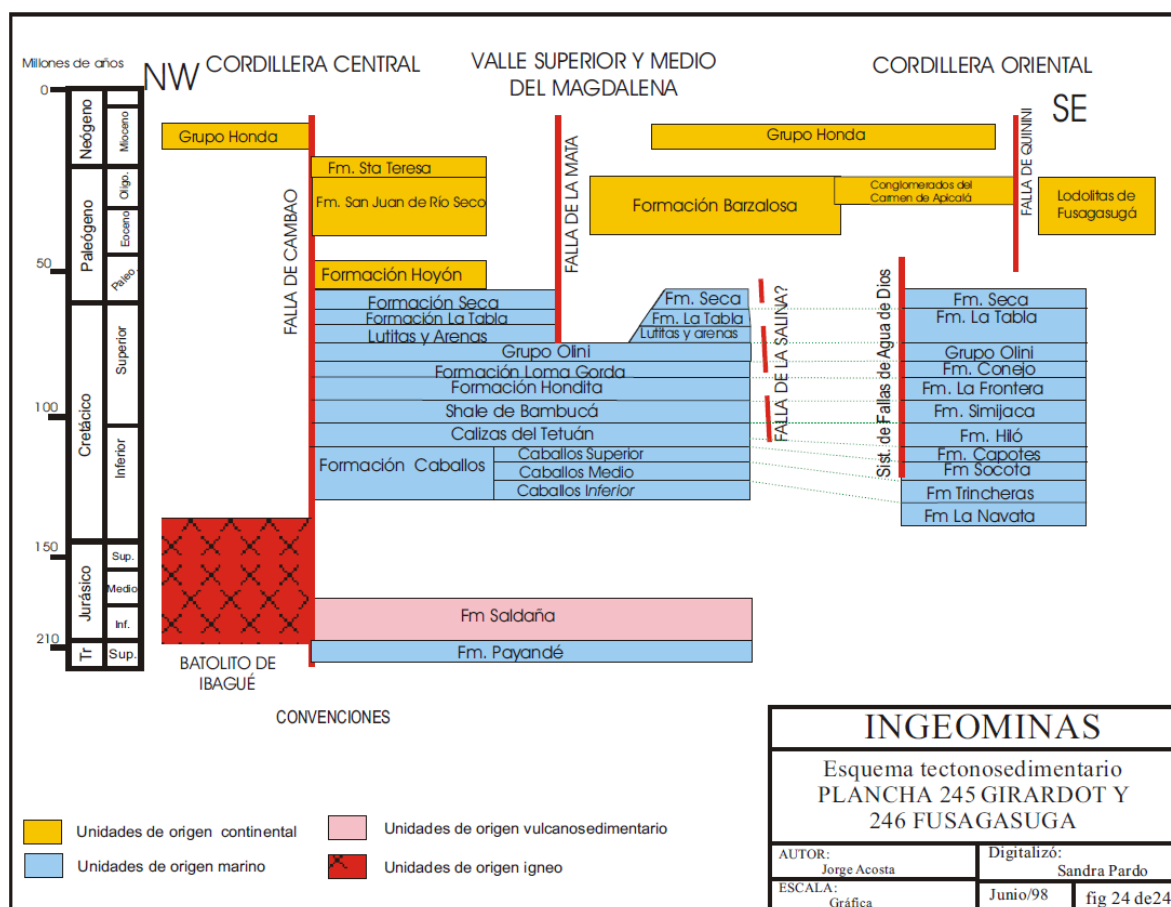


Figura 1. Esquema tectonosedimentario Planchas 245 Girardot y 246 Fusagasugá
Fuente: INGEOMINAS, 2002

3.1.2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Desde el punto de vista geológico, la cuenca del río Sumapaz la conforman rocas y depósitos de origen sedimentario, con una secuencia que inicia en el periodo Cretácico seguida por rocas del período Paleógeno que presenta discordancias en el Eoceno temprano y tardío, y que continúa con rocas del periodo Neógeno con discordancias hacia el inicio y fin del Mioceno. Por último, el período Cuaternario corresponde a depósitos de origen aluvial, fluvio-glaciario, fluvio-torrencial y coluvial que cubren las anteriores secuencias en diferentes lugares de la cuenca. (Ver Figura 2).

Durante el período Cretácico el área de estudio correspondía a una cuenca marina de gran extensión, localizada en un ambiente tectónico de retroarco donde se generaron fallamientos normales y simultáneamente se depositaron sedimentos marinos en sectores apartados con diferentes configuraciones y procedencias que pueden correlacionarse en cuencas independientes (INGEOMINAS, 2002c). Estratigráficamente las rocas pertenecientes a este periodo se localizan en dos cuencas sedimentarias diferentes, separadas por el sistema de fallas de Quinini, las cuales se pueden correlacionar: Valle Superior del Magdalena y Cordillera Oriental.

En la región occidental, pertenecientes a la cuenca sedimentaria del Valle Superior del Magdalena, se encuentran unidades como la Formación Conejo del Grupo Villeta, el Grupo Olini (Formaciones Lidita inferior, Olini Medio y Lidita superior), la Formación La Tabla y la transicional Formación Seca. En la región oriental formando parte de la cuenca de la Cordillera Oriental se observan la Formación Chipaque, el Grupo Guadalupe (Fm Dura, Pleaners y Labor-Tierna) y la transicional Formación Guaduas.

En el período Paleógeno entre el Eoceno temprano y medio ocurrió un evento transpresivo que levantó la región desarrollando un ambiente fluvial de ríos trenzados y meandriformes, de lo cual como producto de este ambiente se depositaron las formaciones Barzalosa, Lodolitas de Fusagasugá y los conglomerados de Carmen de Apicalá (INGEOMINAS, 2001). La formación Barzalosa se identifica por presentar una litología muy heterogénea, la formación Lodolitas de Fusagasugá está compuesta por materiales muy finos como lodolitas y arcillas con algunas intercalaciones con capas de areniscas. Los conglomerados de Carmen de Apicalá están conformados por materiales muy gruesos con variaciones en su tamaño de grano desde cantos hasta gravas de cuarzo y chert.

El Neógeno lo conforma el Grupo Honda, el cual se caracteriza por presentar una litología de areniscas con variaciones de grano desde medio a grueso y donde también es común la ocurrencia de conglomerados. El Grupo Honda es producto de depósitos fluviales con aportes de las cordilleras Oriental y Central, con algunos aportes volcánicos. Dichas configuraciones sedimentarias tienen su origen en el Mioceno cuando se produjo el más rápido y mayor levantamiento de la Cordillera Oriental que configuró un proto valle del Magdalena (INGEOMINAS, 2001).

El Cuaternario se encuentra representado por depósitos de diferente origen como fluvial, aluvial, torrencial y glacial. Estos últimos en su mayoría han sido productos de la última glaciación encontrándose depósitos de morrenas, depósitos fluvioglaciares y depósitos coluviales con influencia glacial (INGEOMINAS, 2001). No obstante, dentro de la cuenca del río Sumapaz se pueden encontrar depósitos de origen fluvial con presencia de materiales volcánicos producto de erupciones del volcán Machín ubicado en la cordillera central (INGEOMINAS, 2002b).

Tabla 1. Unidades geológicas mapa geológico escala 1:100.000. Fuente: SGC (2017)

ERA	PERIODO	ÉPOCA	Unidades Litológicas Aflorantes				Simbología			
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depositos Aluviales Recientes				Qal			
			Depositos Coluviales				Qc			
			Terrazas Aluviales Bajas				Qtb			
			Abanico Espinal				Qae			
		Pleistoceno	Terrazas Aluviales Altas				Qta			
			Coluviales con Influencia Glaciar				Qfg			
			Depositos Fluvioglaciares	Depositos de Morrenas			Qfg		Qm	
	Neógeno	Plioceno								
		Mioceno	Grupo Honda					Ngh		
		Paleógeno	Oligoceno	Formación Conglomerados de Carmen de Apicalá					Pgca	
	Eoceno		Formación Barzalosa		Formación Lodolitas de Fusgasugá			Pgba		Pglf
	Paleoceno									
	Formación Seca		Formación Guaduas			KPgs		KPgs		
Mesozoico	Cretáceo	Tardío	Formación La Tabla				Ksta			
			Grupo Olini	Fm. Lidita Superior	Grupo Guadalupe	Fm. Labor y Tierna	Kso	Ksls	Ksg	Kslt
				Olini medio		Fm Pleaners		Ksom		Kspl
				Fm. Lidita Inferior		Fm Arenisca Dura		Ksli		Ksd
		Grupo Villeta	Formación Chipaque	Formación Conejo		Kv	Ksch	Ksc		
				Formación Frontera				Ksf		
				Formación Simijaca				Kss		
				Formación Une					Kiu	

3.1.3. ESTRATIGRAFÍA

3.1.3.1. Unidades del cretácico

3.1.3.1.1. Grupo Villeta (Kv)

Etayo (1994b) aplica este nombre con el rango de grupo a las rocas sedimentarias que se encuentran entre el techo de la Formación Caballos y la base de la Lidita Inferior. Esta unidad estratigráfica se compone principalmente de lodolitas laminadas de color gris oscuro a negro, físis con calizas lumaquéllicas (fossilíferas) en la base y concreciones calcáreas en el techo, con esporádicas intercalaciones de capas delgadas de arenitas cuarzosas.

La edad del Grupo Villeta abarcaría el lapso desde el Cenomaniano hasta el Coniaciano (Cretácico Superior). Las características litológicas que presenta el Grupo Villeta en este sector de la cuenca del río Sumapaz sugieren que los sedimentos se acumularon sobre una plataforma media a externa, afectada por repetidas profundizaciones rápidas y posteriores somerizaciones lentas del fondo de depósito (Villamil, 1998).

3.1.3.1.2. Formación Chipaque (Ksch)

Hubach (1957) denominó el nombre de Formación Chipaque. La unidad está compuesta principalmente por una sucesión de lodolitas negras, en capas delgadas, con impresiones de amonitas y una capa de carbón hacia la parte inferior; esta sucesión presenta esporádicas intercalaciones de areniscas de cuarzo, finas, micáceas, blancas y negras, con cemento silíceo. Julivert (1968) colectó en la sección tipo *Pecten tenouklensis*, *Exogyra squamata*, *Neocardioceras*, *Collignoniceras*, *Epengonoceras*, *Subprionotropis*, *Prionocydoceras*, *Protexanites*, los cuales bioestratigráficamente indican parte del Cenomaniano y parte del Coniaciano. El mismo autor estima para esta unidad características de depósitos de plataforma con poca influencia clástica.

3.1.3.1.3. Formación Conejo (Kscn)

Ulloa & Rodríguez (1991) utilizan este término únicamente aflora la parte superior de la unidad, la cual consta principalmente, en su parte inferior, de lodolitas grises, y arenitas finas de cuarzo, grises, oscuras. Etayo (1979) señala la zona de *Gloriaceras corraei* - *Protexanites cucaitaense* *Codazziceras scheibei* para esta unidad y le asigna una edad Coniaciano temprano. Martínez (1990) interpreta una plataforma media a inferior, para el depósito de la unidad.

3.1.3.1.4. Formación La Frontera (Ksf)

Cáceres y Etayo (1969), lo elevan al rango de formación. La unidad está constituida por lodolitas calcáreas de color gris - café (por meteorización), en capas delgadas con laminación paralela, alternadas con capas de lidita y micrita de color gris oscuro.

Etayo (1979), propuso la zona de *Mammites nodosoidesappelatus* - *Franciscoites suarezi*, con la que asignó a La Frontera una edad Turoniano temprano. Martínez (1990), con base en foraminíferos y *Didymotis roemeri variabilis* le atribuye una edad Turoniano a la parte inferior de la unidad y Coniaciano medio para la parte alta. El depósito de la unidad ocurrió en una zona con características pelágicas y hemipelágicas, como producto del ascenso relativo del nivel del mar.

3.1.3.1.5. Grupo Olini (Kso)

Al oriente del río Magdalena, el Grupo Olini consta de dos unidades de liditas (Formación Lidita Inferior y Formación Lidita Superior) y una unidad arenosa intermedia llamada de manera informal Olini Medio, en la misma posición estratigráfica del Nivel de Lutitas.

Las características de esta unidad se resumen así: la parte inferior está constituida por liditas y limolitas silíceas, algunas levemente calcáreas, en capas delgadas a medias, onduladas a lenticulares, correspondientes a la Formación Lidita Inferior (Ksli). Esta secuencia está suprayacida por arenitas finas de cuarzo, blancas, con cemento silíceo, en capas delgadas a gruesas, plano paralelas y convergentes; hacia la parte inferior del segmento ocurren esporádicas capas de lodolitas laminadas, denominadas Arenita Intermedia u Olini Medio (Ksom). Continúa una secuencia

alternante de lodolitas negras, con intercalaciones de arenitas finas de cuarzo, blancas, con cemento silíceo, en capas medias y delgadas, plano paralelas, liditas, limolitas de cuarzo y chert, en capas delgadas, plano paralelas, con foraminíferos, correspondiente a la Formación Lidita Superior (Ksls).

La edad del Grupo Olini va desde el Coniaciano tardío hasta el Santoniano con posibilidad que llegue hasta el Campaniano tardío. Para el Grupo Olini que aflora en la parte oriental se deduce que se depositó bajo un ambiente de plataforma externa por debajo del nivel de acción de las olas en las formaciones Lidita Inferior y Superior y en un ambiente de frente de playa en el Olini Medio (Acosta et al., 2002).

3.1.3.1.6. Formación La Tabla (Kslt)

Al oriente del río Magdalena, la Formación La Tabla (Kslt) está constituida por una secuencia monótona de arenita fina de cuarzo, blanca, en capas delgadas a gruesas, con esporádicas intercalaciones de capas delgadas de lodolitas laminadas, negras, bioturbadas.

Los sedimentos de esta formación han sido datados como del Maastrichtiano. Sin embargo, el hecho que el Nivel de Lutitas y Arenas no aflora al oriente del río Magdalena, hace pensar que en esta zona los depósitos de la base Formación La Tabla se inició más temprano, desde el Campaniano medio. La Formación La Tabla representa depósitos de deltas, dominados por ríos y depósitos litorales, con un área fuente cercana y cuenca asimétrica con costados casi paralelos (Acosta et al., 2002).

3.1.3.1.7. Grupo Guadalupe (Ksg)

En la región de estudio en el Grupo Guadalupe se pueden diferenciar claramente tres niveles; uno inferior comparable con la Formación Arenisca Dura, constituido por areniscas finas a muy finas, en capas muy gruesas a delgadas y con intercalaciones de niveles hasta de 5 m de shale y limolitas. Sobre esta secuencia se observa un nivel medio, constituido por limolitas silíceas, en capas delgadas, con partición en cubos y gran cantidad de foraminíferos, intercalados con niveles de lodolitas grises; esta unidad puede ser comparable con la Formación Plaeners. Y sobre esta unidad se observa un nivel superior, el cual consiste en una secuencia monótona de areniscas de cuarzo, finas a medias, en capas muy gruesas, convergentes, comparables con la Formación Labor y Tierna (Acosta et al., 2002).

Bioestratigráficamente, el Grupo Guadalupe se encuentra representado por el Santoniano, desde el Coniaciano hasta el Maastrichtiano (Cáceres & Etayo, 1969b).

Los sedimentos del Grupo Guadalupe fueron depositados de forma alternante en un ambiente litoral y sublitoral interior, dentro de una llanura de marea (Pérez & Salazar, 1971).

3.1.3.1.8. Formación Guaduas (KPggu)

El nombre de Guaduas fue introducido por Hettner (1892) para representar una secuencia estratigráfica que aflora al oriente de la población de Guaduas. La

secuencia litológica de la Formación Guaduas se compone de arcillolitas abigarradas intercaladas con arenita muy fina a fina, de cuarzo, gris-clara, a gris-oscura, en capas delgadas a muy gruesas, se presentan intercalaciones esporádicas de lodolitas de cuarzo, gris-oscura, en capas delgadas. A la Formación Guaduas, Bürgli (1958) le asigna edad Maastrichtiano superior a paleocena, basado en datos palinológicos de van der Hammen (1958). Con base en la interpretación ambiental propuesta por Sarmiento et al. (1992), se puede establecer que la unidad se depositó en llanuras costeras y aluviales, pantanos y ríos controlados por marea con gran aporte de sedimentos desde el continente.

3.1.3.1.9. Formación Seca (KPgs)

Al oriente del río Magdalena, la unidad está conformada en su parte inferior por arenitas finas de cuarzo, en capas gruesas a delgadas, convergentes, intercaladas con capas de lodolitas gris pardo. Sobre este primer nivel se observa una secuencia de lodolitas, rojizas, con material vegetal carbonizado en algunos niveles aflorantes, y esporádicas arenitas finas, de cuarzo, en capas muy gruesas, de tonos rojizos; el tercer nivel ascendente, está conformado por lodolitas grises, con intercalaciones esporádicas de capas de arenitas finas, de cuarzo, gruesas a delgadas; suprayaciendo este tercer nivel se observa una secuencia cubierta, pero que por la morfología del terreno y por afloramientos aislados, se considera que podría estar constituida por arcillolitas pardas y rojas, con intercalación de capas medias a delgadas, de arenitas finas de cuarzo. La edad de la unidad está definida por van der Hammen (1958) como Maastrichtiano – Paleógeno.

3.1.3.2. Unidades del Terciario

3.1.3.2.1. Formación Barzalosa (Pgba)

Nombre establecido por Scheibe (1934) y luego por Cáceres y Etayo (1969b) para describir una secuencia de lodolitas rojas, con intercalaciones de arenitas y conglomerados. La unidad aflora en los alrededores de los municipios de Girardot, Tocaima y al oriente del Municipio de Agua de Dios.

Su edad se deduce de la posición estratigráfica que ocupa entre la Formación Seca y el Grupo Honda. De Porta (1965) asume una edad oligocena – miocena. Sin embargo, la presencia de unidades de conglomerados de edad eocena media, discordante sobre formaciones de edad cretácica en esta parte del Valle Medio del Magdalena, podría indicar que la base de esta unidad corresponde a esta misma edad.

Se puede pensar en ambientes de depósito de abanicos aluviales y ríos trenzados, por analogía con los depósitos del Grupo Gualanday. Con seguridad se trata de depósitos de afinidad continental (Acosta et al., 2002).

3.1.3.2.2. Lodolitas de Fusagasugá (Pgfa)

En el Sinclinal de Fusagasugá aflora una secuencia alternante de lodolitas y areniscas feldespáticas y líticas. La edad de las Lodolitas de Fusagasugá no se pudo determinar mediante dataciones, pero ésta podría ser del Eoceno de acuerdo a las relaciones con otras unidades de la Cordillera Oriental. El ambiente de depósitos interpretado para

esta unidad es el de ríos meandriformes con llanuras de inundación (Acosta & Ulloa, 2001).

3.1.3.2.3. Conglomerados de Carmen de Apicalá (Pgca)

Acosta & Ulloa (1997) denominan informalmente como Conglomerados de Carmen de Apicalá a una espesa secuencia de conglomerados de cantos a gravas, de cuarzo y chert, subredondeados, en una matriz de arena de cuarzo y líticos, que aflora al sur de Pueblo Nuevo y que se extiende hacia el sur hasta el Municipio de Carmen de Apicalá. No se ha encontrado ningún tipo de fósiles dentro de la unidad, pero por su posición estratigráfica, podría haber sido depositada durante el Oligoceno. Duque & Pérez (1990) proponen para la unidad un ambiente de depósito de ríos trenzados.

3.1.3.2.4. Grupo Honda (Ngh)

De Porta (1965) utiliza el término Honda con la categoría de grupo y lo divide de base a techo en las Formaciones Cambrás, San Antonio y Los Limones. En el área estudiada el grupo Honda aflora en la región suroccidental y está representado por las tres formaciones en que fue dividida por De Porta (1965). En general se trata de un conjunto litológico conformado por lutitas rojas con intercalaciones de areniscas, arenas y gravas con cantos de rocas metamórficas e ígneas intrusivas y efusivas. Se considera al Grupo Honda como un depósito de edad miocena que pudo empezar desde el Oligoceno tardío. De Porta (1966) determina que las rocas sedimentarias del Grupo Honda se depositaron en un medio continental de tipo lagunar, afectada por ríos con sedimentación tranquila.

3.1.3.3. Depósitos Cuaternarios

3.1.3.3.1. Terrazas altas (Qta)

Se observan terrazas antiguas y recientes en las márgenes del río Sumapaz, son depósitos no consolidados constituidos por gravas y cantos, de tamaño heterométrico, subangulares a redondeados, en una matriz areno arcillosa de baja compactación. La mayoría reposa sobre rocas del Grupo Honda, y forman pequeñas mesetas sobre las partes altas de las rocas mencionadas; de la misma manera, protegen de la erosión a los afloramientos que las subyacen (Acosta et al., 2002).

3.1.3.3.2. Depósitos aluviales (Qal)

Corresponden a algunos niveles de poco espesor y extensión ubicados en las llanuras de inundación de los principales ríos de la región, producto de las crecientes invernales. De igual forma, se incluyen algunas áreas extensas de sedimentos activos, barras y playas. Están conformados por limos, arenas y gravas de variada composición. Forman valles y vegas de corta extensión, las cuales son aprovechadas para cultivos y pastos para ganadería (Acosta et al., 2002).

3.1.3.3.3. Depósitos Fluvioglaciares (Qf)

Estos depósitos están constituidos por bloques y cantos, desde angulares hasta subredondeados, de areniscas, provenientes del Grupo Guadalupe - Olini, los cuales se encuentran embebidos en una matriz de arena gruesa a arcilla (Acosta & Ulloa, 2001).

3.1.3.3.4. Terrazas Bajas (Qtb)

Este tipo de depósito está constituido por cantos y bloques, subredondeados a redondeados, de areniscas, y abarcan áreas muy extensas; Según Hubach (1931), estas terrazas son del Pleistoceno tardío (Acosta & Ulloa, 2001).

3.1.3.3.5. Depósitos de Morrena (Qm)

Son notables los depósitos de morrena, tipo lateral y terminal, que se localizan en las laderas, de algunos sectores de la cuenca. Estos depósitos consisten en una masa de bloques angulares, desde algunas decenas de centímetros hasta 10 m de diámetro, especialmente de areniscas de cuarzo, en una matriz arenoarcillosa, sin selección alguna. Según Oppenheim (1940) y van der Hammen (1957), en el Páramo de Sumapaz se han presentado varios eventos de glaciación, con los cuales se puede asignar una edad del Pleistoceno a las morrenas que se presentan en el área de estudio.

3.1.3.3.6. Coluviones (Qco)

Están constituidos, principalmente, por acumulaciones de material producido por la acción de la gravedad; se componen, generalmente, de bloques subangulares a angulares con mala selección, embebidos en materiales lodosos, arcillosos y arenosos; presentan disposición caótica que incluye, a veces, restos de escombros (Terraza et al., 2002).

3.1.4.GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

A continuación, se presenta una breve descripción de las estructuras geológicas más importantes presentes en el área de interés, correspondiente a la cuenca del río Sumapaz.

3.1.4.1. Fallas

3.1.4.1.1. Sistema de Fallas de Nebraska

El Sistema de Fallas de Nebraska es un conjunto de fallas que ocurre al suroccidente de la zona de estudio. Consiste en una serie de fallas cabalgantes con dirección aproximada este – oeste e inclinación del plano de falla hacia el sur (Acosta & Ulloa, 2001).

3.1.4.1.2. Falla de Fusagasugá

La Falla de Fusagasugá se presenta al oriente de Fusagasugá y se extiende en la región de estudio hacia el norte hasta el Salto del Tequendama y hacia el sur hasta el Municipio de Arbeláez. Es una falla con dirección aproximada N10°E, que cambia a N10°W al norte y que buza hacia el oriente (Acosta & Ulloa, 2001).

3.1.4.1.3. Falla de La Cajita

La Falla de la Cajita es una estructura con dirección aproximada norte-sur y con buzamiento al oriente, con una leve componente dextral (Acosta & Ulloa, 2001).

3.1.4.1.4. Falla de Suárez

Se trata de una falla de cabalgamiento con vergencia NW, dirección del plano de falla N10°E y buzamiento de 30° al SE. La falla continúa hacia el norte donde se denomina Sistema de Fallas de Agua de Dios y hacia el sur es interceptada por la Falla de Prado. No muestra evidencias de neotectónica (Terraza et al., 2002).

3.1.4.1.5. Falla de Cunday

Es una falla de cabalgamiento con vergencia NW, dirección del plano de falla N35°E y buzamiento de 35° al SE, calculado en corte geológico. Hacia el norte, la Falla de Cunday termina contra la Falla de Lozanía y hacia el sur contra la Falla El Páramo. No muestra evidencias de neotectónica (Terraza et al., 2002).

3.1.4.1.6. Sistema de Fallas del Quininí

Consiste en un sistema de fallas de cabalgamiento imbricadas; con dirección aproximada N10°E y buzamiento hacia el oriente. Este sistema se presenta desde el cerro Quininí hasta el nororiente del Municipio de El Colegio (Acosta & Ulloa, 2001).

3.1.4.1.7. Sistema de Fallas de Venecia – El Consuelo

Es un Grupo de Fallas de cabalgamiento, con vergencia hacia el occidente, que generan escamas tectónicas las cuales involucran la Formación Chipaque, Grupo Guadalupe, Formación Seca y Lodolitas de Fusagasugá (Caicedo & Lara, 2002).

3.1.4.1.8. Fallas El Porvenir y Altamisal

Son fallas de cabalgamiento, con vergencia hacia el oriente que colocan rocas del Grupo Villeta sobre rocas del Grupo Guadalupe. Estas dos fallas se interpretan como retrocabalgamientos del sistema Venecia-El Consuelo (Caicedo & Lara, 2002).

3.1.4.1.9. Sistema de Fallas de Paquiló

Grupo de fallas localizadas al occidente del Sinclinal de Cabrera. Es un cabalgamiento con vergencia hacia el occidente, con dirección del plano de falla N30°E y buzamiento de 35° al SE. Fallas de cabalgamiento asociadas a la Falla de Paquilóson son la Falla El Pilar, Falla el Atadero, Falla La Florida, las cuales generan un sistema imbricado que generan cuñas del Grupo Guadalupe y la Formación Chipaque. Pone en contacto rocas de la Formación Chipaque y el Grupo Guadalupe sobre las Lodolitas de Fusagasugá. Este sistema podría corresponder con una estructura antiformal tumbada, de plano axial vergente hacia el occidente y flancos afectados por fallas (Caicedo & Lara, 2002).

3.1.4.1.10. Falla de Tasajeras

Corresponde a una falla de cabalgamiento con vergencia hacia el occidente. Tiene dirección aproximada de N10°E y buzamiento >de 45°Pone en contacto rocas de edad Cenozoico pertenecientes a las Lodolitas de Fusagasugá, con las rocas cretácicas del Grupo Guadalupe (Caicedo & Lara, 2002).

3.1.4.2. Pliegues

3.1.4.2.1. Sinclinal de Fusagasugá

El Sinclinal de Fusagasugá es una estructura que se observa entre los municipios de Silvania y de Fusagasugá. El eje del pliegue tiene una dirección aproximada N25°E y al sur queda truncado contra la Falla de Silvania, la cual se presenta a lo largo del río Subia; el núcleo está formado por la unidad Lodolitas de Fusagasugá y sus flancos, los cuales se encuentran afectados por fallas, están constituidos por rocas de la Formación Guaduas - Seca y del Grupo Guadalupe – Olini (Acosta & Ulloa, 2001).

3.1.4.2.2. Sinclinal de Carmen de Apicalá

Se trata de un sinclinal de gran extensión geográfica (más de 350 km²) es una estructura suave, subvertical con poca inmersión. La dirección del plano axial se compone de dos trazos que de sur a norte son N10°E y N35°E, El núcleo del sinclinal está conformado por rocas del Grupo Honda; el flanco occidental por la Lidita Inferior y el oriental está cortado por fallas de cabalgamiento, lo cual deja remanentes de un anticlinal en rocas cretácicas (Terraza et al., 2002).

3.1.4.2.3. Sinclinal de Prado

Es una estructura suave, de extensión regional, con dirección de plano axial N40°E. El núcleo está compuesto por las Lodolitas de Fusagasugá y los flancos principalmente por el Grupo Olini (Caicedo & Lara, 2002).

3.1.4.2.4. Sinclinal de San Juan

Es un pliegue abierto, subvertical cuyo eje esta desplazado hacia el flanco occidental, mostrando diferencias en espesor entre ambos flancos, hacia el norte tiene una dirección aproximada de N30°E y hacia el sur de N15°E. Este pliegue está conformado por rocas del Grupo Guadalupe y la Formación Guaduas en sus flancos y en su núcleo por las Lodolitas de Fusagasugá (Caicedo & Lara, 2002).

3.1.4.2.5. Anticlinal de Los Frailes

Se trata de un pliegue con inmersión moderada tanto al norte como al sur. El plano axial donde aflora la Formación Une tiene dirección N20°E y cambia de dirección a N30°E al norte (Caicedo & Lara, 2002).

3.1.4.2.6. Anticlinal de Pueblo Viejo

Es un pliegue cerrado, sin inmersión, con dirección del plano axial N30°E y una inclinación de aproximadamente 35° con vergencia hacia el occidente Su núcleo está caracterizado por la Formación Chipaque y con los flancos por el Grupo Guadalupe (Caicedo & Lara, 2002).

3.1.4.2.7. Sinclinal de Cabrera

Es un pliegue abierto, subvertical a vertical, subparalelo al sinclinal de San Juan, con eje axial de dirección N30°E. Este pliegue está conformado en su núcleo por las Lodolitas de Fusagasugá y sus flancos, aunque están afectados por fallas lo conforman rocas de la Formación Guaduas y del Grupo Guadalupe. Al norte el eje se encuentra truncado por varias fallas de rumbo de dirección N10°W (Caicedo & Lara, 2002).

3.1.5. GEOLOGÍA LOCAL

El levantamiento de información y la construcción de la geología a escala 1:25.000 para el área de jurisdicción de la cuenca del río Sumapaz se desarrolló en el marco del Contrato 1870 de 2017, entre la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR y la empresa GEOCING S.A.S.

3.1.5.1. Metodología

La construcción de la caracterización geológica de la cuenca del río Sumapaz se desarrolló en tres etapas básicas que se explican a continuación:

3.1.5.1.1. Fase de pre-campo

En esta fase se recopiló y analizó la información geológica existente, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Universidad Nacional de Colombia (UN) y catálogos virtuales en línea. Igualmente se adelantó la recopilación de insumos como la base cartográfica a escala 1:25.000, el Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) con resolución espacial de 12,5 metros e imágenes de sensores remotos. Así mismo se adquirieron insumos temáticos como los mapas geológicos y las memorias explicativas de las planchas escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano, los cuales contienen la información cartográfica y descriptiva de la litología, como de rasgos estructurales regionales de la zona de estudio.

Dentro de esta fase se compilaron las siguientes planchas geológicas, cuyas áreas incluyen parte de la zona de estudio: 245 Girardot, 246 Fusagasugá, 264 Espinal, 265 Icononzo y 284 Santana, todas a escala 1:100.000, para la unificación de estas se tuvo en cuenta la concordancia de la litología y la posición estratigráfica, la correlación de unidades de la cuenca del Valle Superior del Magdalena y de las unidades de la cuenca de la Cordillera Oriental. Posteriormente se unificaron las unidades (nomenclatura geológica), con base en similitud litológica y cronoestratigráfica. Una vez se dio la continuidad de las unidades geológicas en los sectores de empalme de las diferentes planchas geológicas utilizadas, se realizaron las modificaciones necesarias en la nomenclatura estratigráfica para obtener el mapa geológico integrado de la cuenca del río Sumapaz 1:100.000 como se mostró en la geología regional del área de estudio.

Luego de tener el mapa se procedió a realizar la fotointerpretación de las unidades, delimitando las unidades a una escala 1:25.000, esta actividad responde a una metodología que se divide en varias etapas, como se muestra en la Figura 3. De aquí se observa que en primera instancia se obtuvo las fotografías aéreas en el Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” (IGAC), luego se interpretaron los contactos litológicos y la geología estructural, para luego ser transferidos mediante técnicas de fotogrametría y finalmente ser digitalizados mediante herramientas SIG con el objeto de obtener el insumo de mapa fotogeológico a escala 1:25.000.



Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología empleada en la fotointerpretación
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

Se realizó la fotointerpretación con base en 261 fotografías aéreas en formato digital con resolución de 15 micrones, con escalas entre 1:27.000 y 1:44.000, tomadas entre los años 1981 y 1996. Estas fotos se encuentran dispuestas en quince líneas de vuelo con orientación norte-sur (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Lista de fotos aéreas utilizadas en la fotointerpretación. Fuente: IGAC, 2018

#	Línea de Vuelo	Fotos	Fecha	Escala	Total Fotos
1	C-1985	24 a 42	3/11/81	1:30250	19
2	C-2052	258 a 263	23/01/82	1:39200	6
3	C-2584	99-124	10/01/96	1:27200	26
4	C-2584	19 a 57	10/01/96	1:28650	39
5	C-2342	1 a 24	31/05/88	1:37000	24
6	C-2584	227 a 240	10/01/96	1:26100	14
7	C-2584	177 a 205	10/01/96	1:27750	29
8	C-2584	133 a 160	10/01/96	1:30700	28
9	C-2662	103 a 114	18/08/99	1:47000	12
10	C-2332	210 a 218	01/01/88	1:33350	9
11	C-2117	155 a 161	30/12/83	1:33100	7
12	C-2340	1 a 17	05/07/88	1:29730	17
13	C-2556	36 a 46	24/01/95	1:53600	11
14	C-2549	199 a 207	14/01/95	1:44600	9
15	C-2549	180 a 190	14/01/95	1:44800	11

La fotointerpretación de las líneas de vuelo, se realizó utilizando estereoscopios de espejos, en los cuales, al ubicar dos fotografías continuas, una al lado de la otra (solapamiento), otorgan la sensación de relieve por efecto de la estereoscopía. Posteriormente se superpuso un acetato sobre una de estas fotos y sobre este se identificaron y trazaron los contactos geológicos, drenajes, fallas, estructuras y la inclinación de las capas, obteniendo unidades de litología resistente, como las areniscas del Grupo Guadalupe, las cuales constituyen unidades guía en la fotointerpretación, dado que bajo el estereoscopio, sus capas tienen el espesor y continuidad suficiente para ser cartografiadas, y se separan de unidades con composición litológica más blanda como la Formación Guaduas con predominio arcilloso, lo cual se traduce en un marcado contraste litológico. Igualmente, los depósitos cuaternarios son fácilmente distinguibles en las fotografías aéreas por su textura y posición discordante sobre las unidades en las cuales reposan, pudiéndose cartografiar su gran extensión en la cuenca del río Sumapaz (Figura 4).

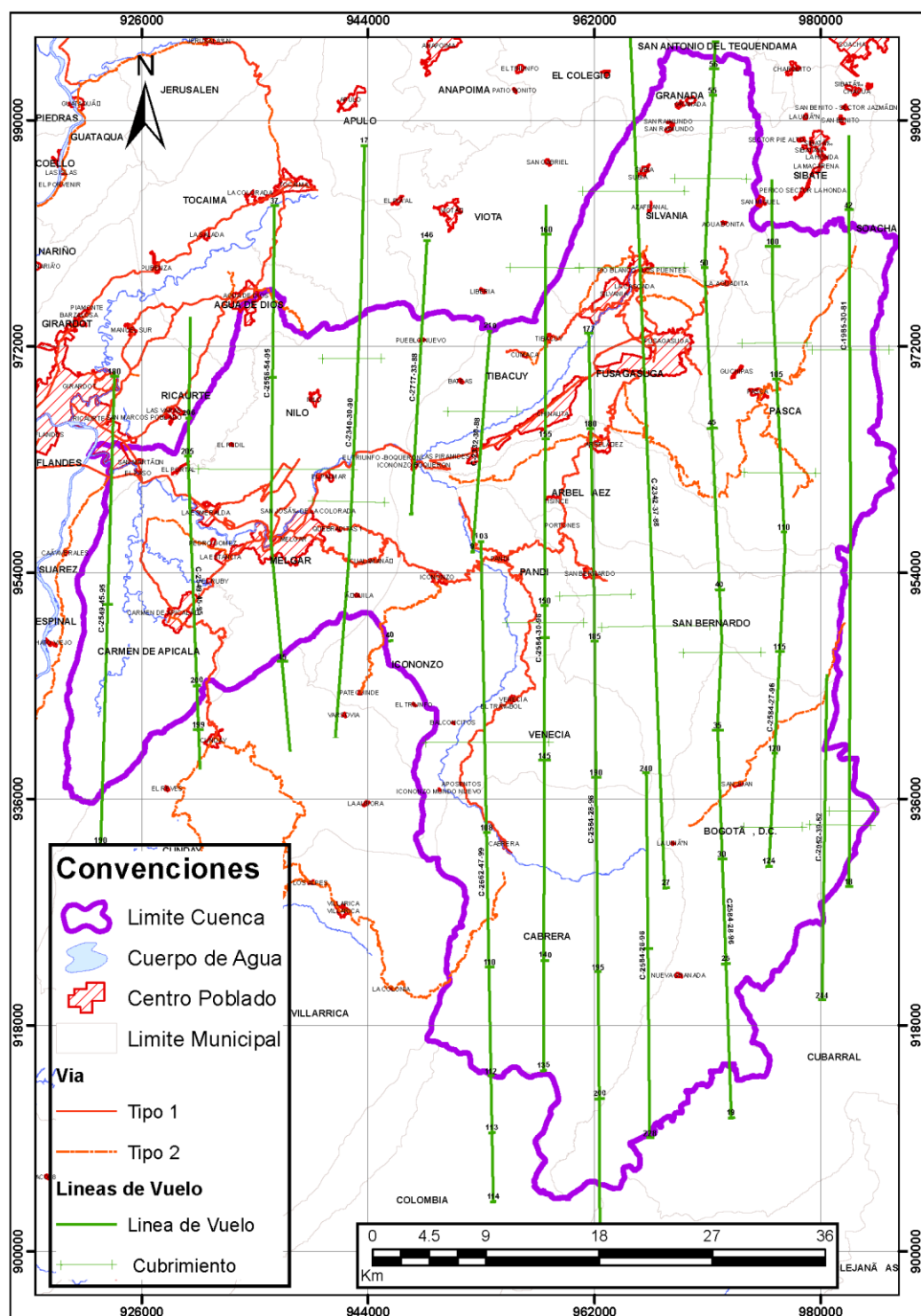


Figura 4. Localización de las líneas de vuelo utilizadas en el proceso de fotointerpretación
Fuente: IGAC compilado por GEOCING S.A.S 2018

3.1.5.1.2. Fase de campo

Para esta fase, la cuenca fue dividida en cuatro zonas con el fin de optimizar los recorridos de los grupos de geólogos que adelantaron los estudios, mediante estaciones de control, principalmente a lo largo de vías principales y secundarias, que permitieron obtener y registrar las observaciones requeridas en el trabajo de campo (Figura 5). Para la definición de estas 4 zonas, se tuvo en cuenta factores entre otros como: vías presentes, relieve presente, complejidad litológica y estructural, distancias a centros urbanos, zonas de interés planteados en la fase de fotointerpretación.

Las estaciones fueron planeadas previamente enfocándose en el reconocimiento de zonas que presentaron dudas e inconvenientes en la fotointerpretación (zonas de interés geológico). No obstante, algunos sitios localizados en el páramo de Sumapaz, dentro del Distrito Capital de Bogotá, en la zona oriental y suroriental del área de estudio, no pudieron ser visitados debido a diversas condiciones no previstas como: difícil acceso por ausencia de infraestructura vial, o vías deterioradas que impidieron la movilidad, condiciones climáticas adversas y zonas con alteración del orden público por presencia de campos minados. De igual forma, en las zonas suroccidental y noroccidental, en el cerro Suarez, se encontraron áreas restringidas y/o propiedades privadas en los cuales no se pudo realizar el control de campo.

En cada estación se siguió la siguiente metodología: se le dio un código que incluye las iniciales del nombre del geólogo que realiza la descripción y un número consecutivo, y se registraron las coordenadas planas referidas al sistema Magna Sirgas, Datum Bogotá, con ayuda de GPS, seguido se realizó la descripción general del afloramiento, anotando sus características en la libreta y los formatos de campo definidos para el POMCA; luego con el martillo geológico se extrajeron muestras de roca y/o suelo, con el fin de analizarlas y clasificarlas macroscópicamente con ayuda de la lupa y ácido, según su composición, textura, dureza y disposición en el terreno. Igualmente se corroboraron las unidades geológicas y estructuras como fallas y pliegues interpretadas en el mapa preliminar, ajustando los contactos y trazos en los casos que se requirieron. En las estaciones donde se observaron planos de estratificación y/o diaclasas, se procedió con ayuda de la brújula, a tomar dichos datos; además, con el esclerómetro se realizaron mediciones en el macizo rocoso.

En total se realizaron 180 estaciones en campo, siendo las zonas 1 y 2 las de mayor densidad de puntos con un total de 58 y 60 estaciones respectivamente. En las zonas 3 y 4 se presentaron mayor cantidad de inconvenientes como los anteriormente mencionados, que impidieron el acceso a zonas de puntos que se tenían previstos visitar.

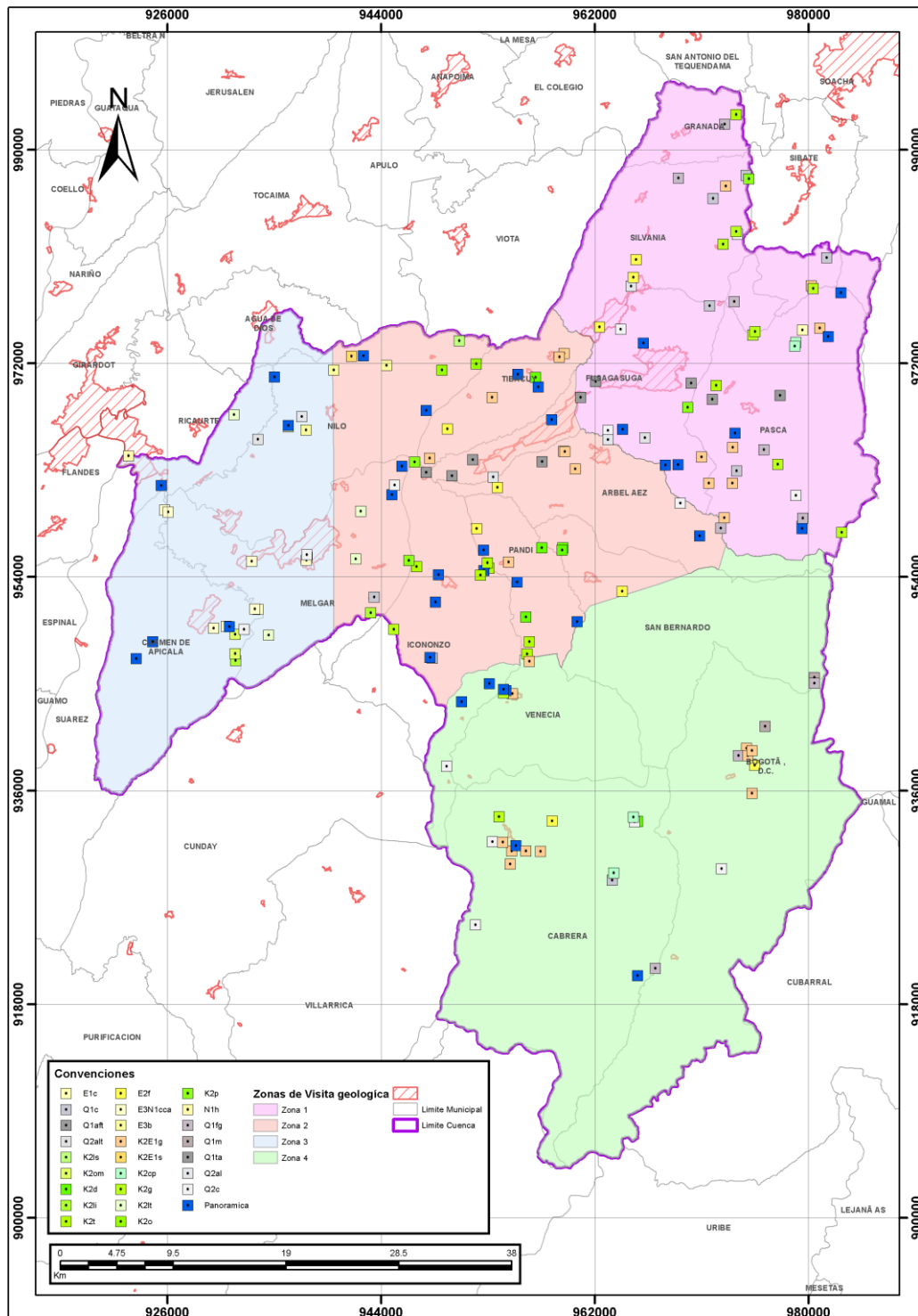


Figura 5. Localización puntos de control en campo teniendo en cuenta las cuatro zonas
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.5.1.3. Fase de Post - campo

Finalmente, en esta fase se procesó e íntegro la información obtenida en las etapas anteriores. Se compilaron los datos de las cuatro zonas visitadas, datos estructurales, información de los afloramientos, disposición general de las unidades en los puntos visitados. Se clasificaron las fotografías tomadas en campo de donde se obtienen fotografías de afloramiento y panorámicas que nos muestran con mayor claridad la forma del terreno y los contactos o estructuras presentes en el área.

Con la información expuesta por medio de los diferentes geólogos participantes en las campañas de campo, se procedió a complementar el mapa de fotointerpretación geológica, y posteriormente se utilizó la herramienta SIG Height Above Nearest Drainage (HAND), con el fin de definir con mayor precisión los depósitos aluviales, generando el mapa final de geología básica con fines de ordenación de cuencas hidrográficas a escala 1:25.000, presentado en 38 planchas (Figura 6).

Posteriormente se redactó la memoria técnica donde se compila toda la información que configura la geología del POMCA de la cuenca del río Sumapaz.

A continuación, se presenta la descripción de las unidades geológicas que afloran en el área que corresponde a la cuenca del río Sumapaz. Estas unidades abarcan desde el Cretácico Inferior (hace 129.4 millones de años (M.a)) hasta los depósitos recientes denominados Cuaternarios (hace 2.5 M.a.), (3.1-1. Memoria técnica caracterización geológica POMCA Sumapaz V5)

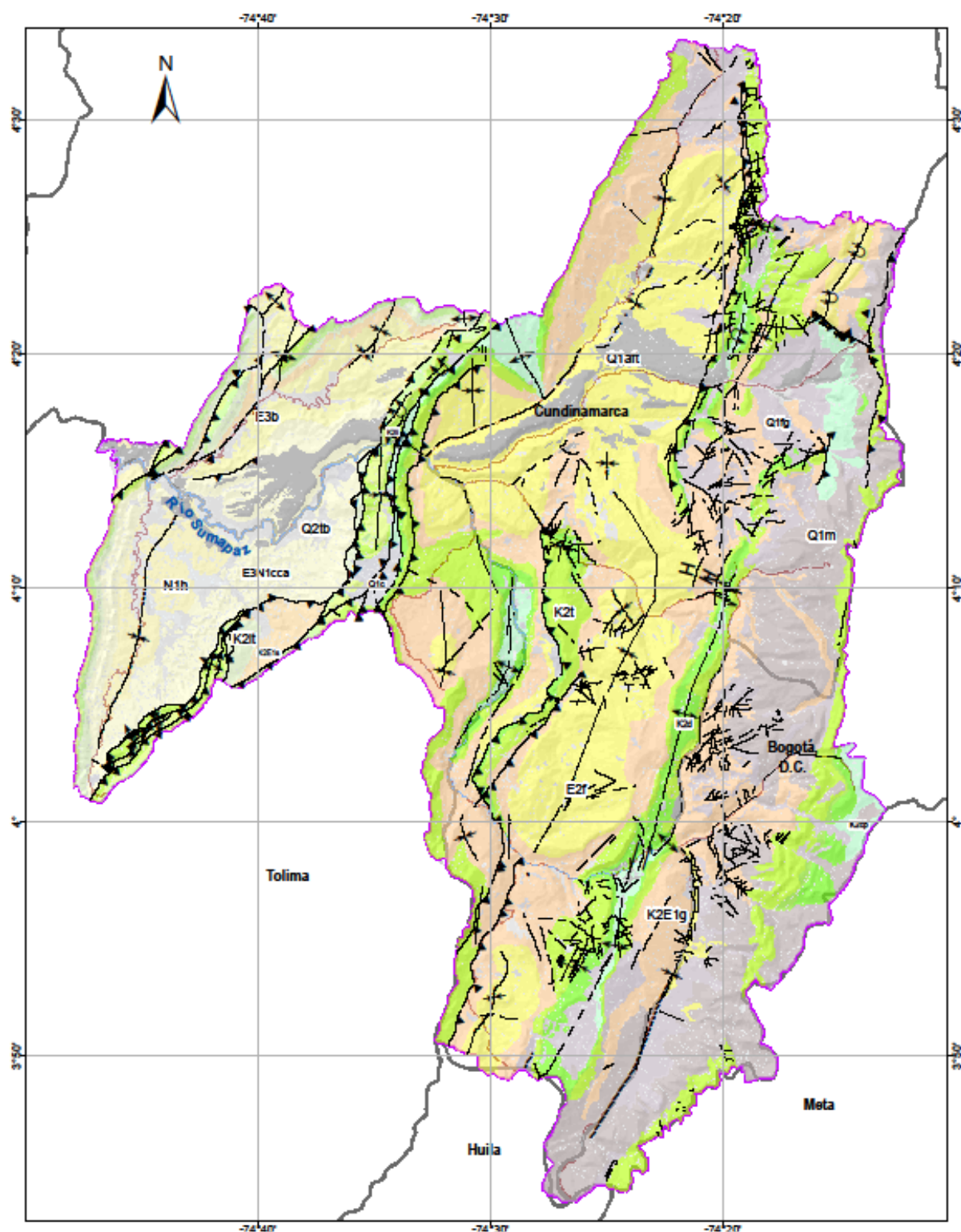


Figura 6. Mapa de geología básica con fines de ordenación de la cuenca del río Sumapaz escala 1:25.000. GEOCING S.AS, 2018.

Tabla 3. Unidades geológicas mapa geológico escala 1:100.000. Fuente: SGC (2017)

ERA	PERIODO	ÉPOCA	Cuenca Valle Superior del Magdalena		Cuenca Cordillera Oriental						
			Unidades Litológicas		Simbología	Unidades Litológicas		Simbología			
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depositos Aluviales Activos		Q2ala	Depositos Aluviales Activos		Q2ala			
			Depositos Aluviales Recientes		Q2al	Depositos Aluviales Recientes		Q2al			
			Terrazas Aluviales Bajas		Q2tb	Terrazas Aluviales Bajas		Q2tb			
			Depositos Coluviales recientes		Q2c	Depositos Coluviales recientes		Q2c			
			Deposito Aluviotorrencial		Q2alt	Deposito Aluviotorrencial		Q2alt			
		Pleistoceno	Terrazas Aluviales Altas		Q1ta	Terrazas Aluviales Altas		Q1ta			
			Depositos Coluviales antiguos		Q1c	Depositos Coluviales antiguos		Q1c			
			Depositos de Abanico fluviotorrenciales		Q1aft	Depositos de Abanico fluviotorrenciales		Q1aft			
					Depositos Fluvioglaciares		Q1fg				
					Depositos de Morrenas		Q1m				
	Neógeno	Plioceno									
		Mioceno								Grupo Honda	
			Formación Conglomerados de Carmen de Apicalá		E3N1cca						
	Paleógeno	Oligoceno	Formación Barzaloza		E3b						
					Formación Lodolitas de Fusagasugá				E2f		
					Formación Bogotá				E1b		
					Formación Cacho				E1c		
			Formación Guaduas		K2E1g						
Mesozoico			Cretáceo	Tardío	Formación Seca				K2E1s	Formación Guaduas	
	Formación La Tabla				K2lt	Grupo Guadalupe		Fm. Labor y Tierna		K2g	K2t
	Grupo Olini	Fm. Lidita Superior			K2o			K2ls	Fm. Pleaners		K2p
		Olini media						K2om	Fm. Arenisca Dura		K2d
		Fm. Lidita Inferior						K2li			
	Formación Conejo				K2c			Formación Chipaque		K2cp	

3.1.6. ESTRATIGRAFÍA

3.1.6.1. Cretácico (K)

En la región oriental de la cuenca del río Sumapaz las unidades que afloran de la cuenca sedimentaria de la Cordillera Oriental corresponden a la Formación Chipaque, el Grupo Guadalupe (Formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Labor-Tierna) y Formación Guaduas. En la región occidental dentro de la cuenca sedimentaria del Valle Superior del Magdalena afloran rocas del Grupo Olini y Grupo Villeta (Fm Conejo) al igual que las Formaciones La Tabla y Seca. A continuación, se presenta una descripción de los aspectos litológicos de cada una de las unidades.

3.1.6.1.1. Formación Chipaque (K2cp)

El nombre “Chipaqué” fue empleado por primera vez por Hubach, 1931, con el rango de “Conjunto Chipaque”. Redefinida por Renzoni, 1962, quien la presenta como una “unidad conformada fundamentalmente por lutitas”, hecho que la diferencia claramente de sus dos unidades infra y suprayacentes que están formadas por areniscas y destacan netamente en el relieve (Jullivert, 1968).

La Formación Chipaque consta en su parte inferior a media de una alternancia de lodolitas grises oscuras a negras, físis en capas muy finas a muy gruesas; intercaladas con capas muy delgadas a muy gruesas plano paralelas y no paralelas de arenitas de grano fino a medio de cuarzo, de color gris claro a oscuro, cemento silíceo; los primeros 25 m de espesor se presentan delgadas intercalaciones de caliza muy meteorizada. En la parte superior de la sección predomina la lodolita negra en capas delgadas a muy gruesas con intercalaciones de capas delgadas a gruesas de arenita de grano muy fino a fino de cuarzo, de color gris oscuro a negro con cemento silíceo y a veces calcáreo (INGEOMINAS, 2002c).

La Formación Chipaque tiene el contacto inferior con la Formación Une en general neto concordante en el borde Llanero (Guerrero & Sarmiento, 1996) y transicional en el área de Choachí (Renzoni, 1962) pero en el área del Páramo de Sumapaz su relación es fallada. Su contacto superior es transicional con el Grupo Guadalupe. (INGEOMINAS, 2002c)

Hubach (1957) considera la Formación Chipaque como Cenomaniano Superior-Coniaciano, en la parte oriental de la Sabana de Bogotá. De acuerdo con Julivert (1968) comprende parte del Cenomaniano, el Turoniano y parte del Coniaciano. (INGEOMINAS, 2002c)

Esta formación se localiza en el sector oriental y suroriental del área de estudio e infrayace a la Formación Arenisca Dura del Grupo Guadalupe, conformando parte de los cerros que bordean la cuenca, especialmente en el eje de estructuras anticlinales. Aflora en las planchas a escala 1:25.000 246-III-A, 246-IV-B, 246-III-B en el municipio de Tibacuy en la vereda la Vuelta, 246-III-C en la vereda San Bartolo y 246-IV-A en el municipio de Pasca.

La unidad está compuesta principalmente por una sucesión de lodolitas negras, en capas delgadas, con impresiones de amonitas y bivalvos; esta sucesión presentó esporádicas intercalaciones de areniscas de cuarzo, finas, con minerales micáceos, blancos y negros, con cemento silíceo, en capas medias y gruesas. (Ver Figura 7).



Figura 7. A. Afloramientos de la Formación Chipaque (K2cp) Vereda Juan XIII, municipio de Pasca. B. Afloramiento por derrumbe en la vereda Paquilo, municipio de Cabrera. C. Bloque extraído con presencia de fósiles. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.1.2. Grupo Villeta (K1k2v)

- Formación Conejo (K2c)

Definida por Renzoni, 1968, para designar una secuencia de lutitas que infrayacen rocas de la Formación Arenisca Dura. Esta unidad consta principalmente de una sucesión alternante de lodolitas grises, con laminación ondulosa y areniscas de cuarzo, finas, grises oscuros, en capas delgadas y medias, con estratificación planoparalelas. La sección media y superior están compuestos primordialmente por lodolitas grises, con laminación ondulosa no paralela, e intercalaciones de areniscas de cuarzo, finas, grises, oscuras, con cemento silíceo, en capas delgadas a medias, plano paralelas (Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015).

Ésta unidad aflora en la plancha 245-IV-B, en la vereda Malachí del municipio Agua de Dios al noroccidente de la cuenca, la formación conejo está aflorando en el cerro peñas negras y su contacto superior es concordante con la primera aparición de liditas de la Lidita Inferior (K2li), mientras que en su base el contacto es fallado con la Formación Barzalosa (E3b), (Ver Figura 8).

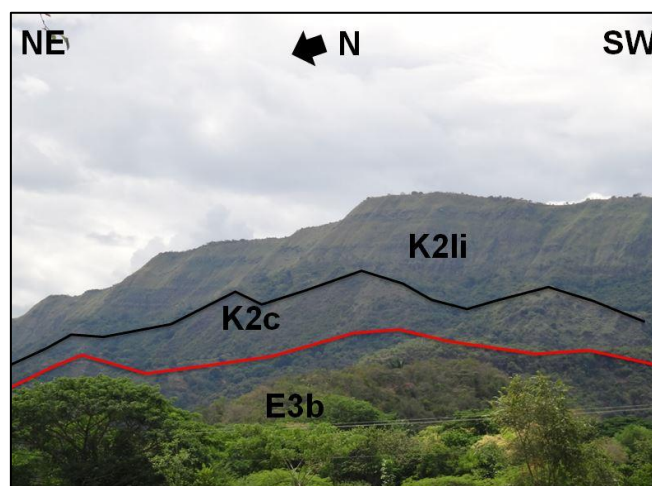


Figura 8. Panorámica de la Formación Conejo (K2c) en contacto con la Formación Lidita Inferior (K2li) en la vereda Malachí, municipio de Agua de Dios. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018.

3.1.6.1.3. Grupo Guadalupe (K2g)

La primera referencia sobre esta unidad pertenece a Hettner, 1892, quien denominó Piso Guadalupe a las areniscas del Cretácico superior ubicadas en el Cerro de Guadalupe al Oriente de Bogotá, de donde toma su nombre. (Hubach E., 1931) Redefine la unidad fijando el límite entre Guadalupe-Villeta, por encima de un nivel de caliza denominado por él mismo como conjunto Chipaque. Igualmente divide la unidad en un conjunto inferior arcilloso (Guadalupe Inferior) y otro superior arenoso (Guadalupe Superior). El Guadalupe Superior lo subdivide de base a techo en Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca Tierna (INGEOMINAS, 2002b).

Esta unidad consta de capas muy gruesas, plano paralelas continuas, de cuarzoarenitas de color crema, grano fino a medio, angular a subredondeado, moderadamente seleccionado con cemento silíceo. Las características litológicas del Grupo Guadalupe indican un ambiente de depósito de playa o plataforma interior (INGEOMINAS, 2002b).

La unidad aflora en gran parte de la cuenca en la plancha 265-I-A en las veredas Alto de Icononzo, Buenos Aires, Chaparro, Cuba, Dos Quebradas y el Mesón en el municipio de Icononzo. Igualmente, en las planchas 265-III-B en la Vereda la unión y 265-III-C y 265-III-D en las veredas Hoyerin, la Playa Nuñez, Peñas Blancas, Pueblo Viejo y Santa Marta en el municipio de Cabrera. Puesto que la unidad aflora en varios sitios de la cuenca, los buzamientos de sus capas son muy variables, dependiendo del sector. En la zona oriental de la cuenca, las capas están inclinadas hacia el SE, al igual que en el sector central sobre el cerro de Quinín.

- Formación Arenisca Dura (K2d)

La Formación Arenisca Dura es la base del Grupo Guadalupe y se localizan afloramientos de la misma hacia el sector oriental de la cuenca. Se encuentra constituida por capas tabulares de areniscas de grano medio a fino, en capas de espesores variables entre muy gruesas y delgadas, con intercalaciones de niveles hasta de 5 m de shale y limolitas (INGEOMINAS, 2001). Esta unidad se depositó en

un ambiente litoral a sublitoral (Salazar & Perez, 1978) y su edad es Campaniano-Santoniano.

El contacto inferior de La Formación Arenisca Dura con rocas de la formación Chipaque es concordante; mientras que el superior es suprayacida en su mayor parte por la Formación Pleaners en contacto neto y concordante.

Se observa un afloramiento, sobre la vía que del municipio de San Bernardo conduce al municipio de Pandi, localizada en la plancha 265-IB, se observa que la unidad consiste en cuarzo arenitas con granos subredondeados, de tamaño de grano medio a fino, con calibración moderadamente buena, este afloramiento se encuentra muy fracturado y con algunas patinas de oxidación; el dato estructural medido fue de 265/25 y las familias de diaclasas se disponen en orientaciones 250/60, 90/78, 170/90 y 130/60 (Ver Figura 9).

Además, la unidad también se encuentra aflorando en las planchas 246-III-B en las veredas San José, San Luis y Chisque en el municipio de Tibacuy; planchas 265-I-A y 265-I en la vereda Buenos Aires en el municipio de Pandi; planchas 246-IV-B y 246-IV-D en Soacha en el sector de Romeral y veredas Chisacá y Corrales en el municipio de Pasca.

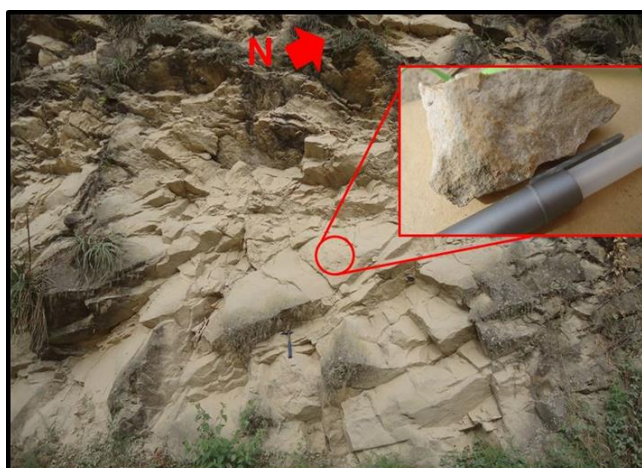


Figura 9. Afloramiento de la formación Arenisca Dura (K2d) sobre la vía que del municipio de San Bernardo conduce al municipio de Pandi en la margen izquierda, en la vereda La Virgen. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

- Formación Pleaners (K2p)

Esta unidad fue referenciada por Hubach, 1957, la cual había sido descrita en 1931 y redefinida por Renzoni (1962, 1968). Aflora en los flancos de algunos de los cerros que bordean la Sabana de Bogotá y hace parte de las estructuras anticlinales.

La formación Pleaners se encuentra ubicada dentro del Grupo Guadalupe, su litología está caracterizada por limolitas silíceas, en capas delgadas intercaladas con niveles de lodolitas grises, con partición en cubos y gran cantidad de foraminíferos (INGEOMINAS, 2002c). El contacto inferior concordante con la Formación Arenisca Dura, se trazó en la base de la capa más baja de limonitas silíceas, la cual suprayace

a una espesa secuencia de arenitas; el contacto superior, se ubicó en el techo de la capa más alta de limolitas silíceas, la cual infrayace una secuencia espesa de arenitas de cuarzo de la Formación Labor y Tierna.

Según lo observado en campo, en la base es común encontrar capas de arcillolitas intercaladas con lodolitas en capas medias y delgadas, hacia el tope de la formación se encontraron intercalaciones de limolitas silíceas y liditas fosilíferas en capas pequeñas a medias, con rocas de areniscas limosas en capas medias a gruesas, de selección buena, con coloraciones 10YR-8/6 según (Munsell, 1994), con algunas capas esporádicas de chert (Ver Figura 10).



Figura 10. Afloramiento de la formación Pleaners (K2p) en la vereda Cualamaná, Melgar, límite con el municipio de Icononzo. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

- Formación Labor y Tierna (K2t)

Esta unidad fue definida por Renzoni en 1968. Al igual que las dos unidades anteriores y como unidad superior del Grupo Guadalupe, constituye la mayor parte de los cerros que bordean La Sabana de Bogotá.

Las capas superiores del Grupo Guadalupe se identifican por ser una secuencia monótona de areniscas de cuarzo, finas a medias, en capas muy gruesas, a esta secuencia se le conoce como Formación Labor y Tierna (INGEOMINAS, 2002c).

El contacto inferior es concordante y se ubicó en la base de la capa más baja de arenitas de cuarzo, la cual suprayace una secuencia de limolitas silíceas; el contacto superior igualmente concordante, y se localizó en el techo de la capa más alta de arenitas, que infrayace una secuencia de arcillolitas de la Formación Guaduas.

La formación Labor y Tierna se compone en su base de areniscas de grano muy fino, dispuestas en capas delgadas y muy delgadas, de coloración 10R-7/2 según (Munsell, 1994), con intercalaciones de lodolitas arenosas en capas muy delgadas y planas, como se evidenció en campo en la vía que del municipio de Pandi conduce al municipio de Icononzo. En el medio de la formación es común encontrar capas

gruesas y medianas de cuarzo areniscas bien seleccionadas de grano muy fino. En el tope de la formación se pudieron observar capas gruesas de areniscas de grano fino y muy fino, bien seleccionadas intercaladas con capas muy delgadas de arcillolitas (Ver Figura 11).

La unidad aflora en las planchas 246-IV-A en las veredas El Tendido y La Cajita en el municipio de Pasca y en la plancha 246-IV-D en la vereda Corrales en el municipio de Pasca y 246-IV-C en el sector de Chusacá.



Figura 11. Afloramientos de la Formación Labor y Tierna (K2t): A. sobre la vía que del municipio de Pandi conduce al municipio de Icononzo. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.1.4. Grupo Olini (K2o)

Nombre introducido por Petters (1954), al mencionar la unidad que contiene los foraminíferos descritos por él, sin dar más información de la unidad. De Porta (1965) utiliza este término para describir una secuencia litológica compuesta por dos niveles silíceos, denominados Lidita Inferior y Lidita Superior, separados por un nivel de lutitas; como localidad tipo menciona el camino Piedras - La Tabla (Tolima) y como secciones de referencia, algunos cortes por la carretera Girardot-Guataquí (INGEOMINAS, 2002a).

Al oriente del río Magdalena, el Grupo Olini consta de dos unidades de liditas (Formación Lidita Inferior y Formación Lidita Superior). Cáceres & Etayo (1969a) incluyen dentro de este grupo el Nivel de Lutitas y Arenas nombrado por De Porta (1966) y elevan a la categoría de formación las Liditas Inferior y Superior (INGEOMINAS, 2002a) (Ver Figura 12).

En la vereda Inali, sobre la vía que conduce del casco urbano de Carmen de Apicalá hacia el municipio de Cunday, se observa un afloramiento de 10 m de alto por 30 m de ancho, con capas delgadas entre 10 - 15 cm, de liditas con laminación plano

paralela, en contacto con areniscas de grano muy fino en capas medianas de 0.5 m a 1 m de espesor, con buena calibración y granos subredondeados.

Al suroriente de la cuenca, esta unidad aflora en las planchas 245-IV-B, 245-IV-D, 246-III-A, 246-III-B, 246-I-A, 246-I-B, 246-I-D, en los municipios de Ricaurte, Agua de Dios y en las planchas 245-IV-A, 245-II-B, 245-II-C, 245-II-D en el municipio de Girardot.



Figura 12. Afloramiento del Grupo Olini (K2o) en la vía que del municipio de Melgar conduce al municipio de Icononzo, sobre la vereda Águila Alta del municipio de Melgar. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

- Formación Lidita Inferior (K2li)

La Formación Lidita Inferior en la parte inferior de su secuencia en el sector occidental del río Magdalena presenta un espesor de 9 m, y consta de micritas y lodolitas calcáreas, las cuales pasan gradualmente a limolitas silíceas, con delgadas intercalaciones de liditas y chert. Su parte media, con un espesor de 30 m, consta de capas de lidita, que miden entre 20 y 50 cm con intercalaciones ocasionales de capas delgadas de limolitas silíceas. Los niveles de chert son de color 2.5YR-8/1 a 2.5 YR-8/2 según (Munsell, 1994), presentan estratificación ondulosa no paralela y contienen gran cantidad de foraminíferos *Siphogenerinoides* sp. En el sector oriental del río Magdalena la Formación Lidita Inferior está constituida por liditas y limolitas silíceas, algunas levemente calcáreas, en capas delgadas a medias, ondulosas a lenticulares (INGEOMINAS, 2002a).

La unidad aflora al sureste de la plancha 245-IV-B en la vereda Cumaca del municipio de Ricaurte, y en la plancha 245-IV-D, en las veredas Cajón y la Palmita, del municipio de Melgar.

En la zona se observa como una roca sedimentaria con presencia de meteorización, compuesta por arenas muy finas con buena calibración, de granos redondeados a

subredondeados, con intercalación de liditas de capas planas y muy delgadas entre 5 -10 cm de espesor, de la manera que se puede observar en la Vía Cunday – Carmen al margen derecho de la carretera, se observa un afloramiento con dimensiones de 5 m de alto por 8 m de ancho, con 2 familias de diaclasas con disposiciones 153/88 y 74/83. La estratificación se da en capas con tamaños 5 -10 cm de espesor en disposición estructural 82/32. (Ver Figura 13).

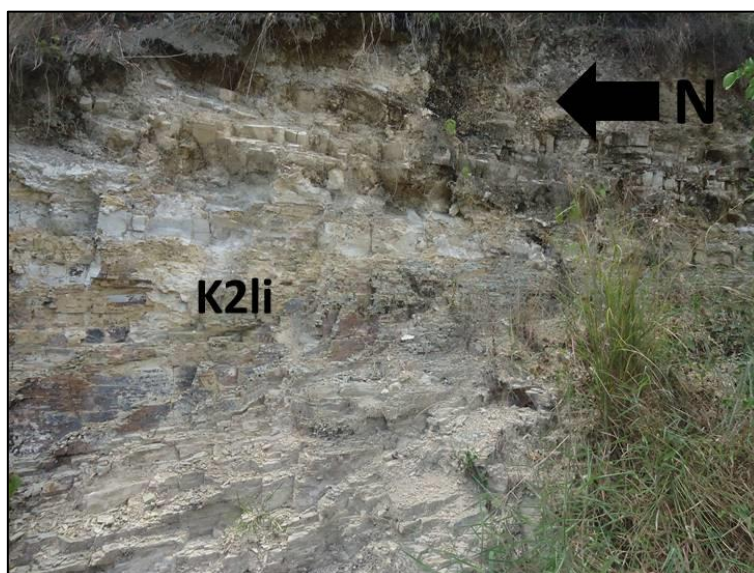


Figura 13. Afloramiento de la Formación Lidita Inferior (K2li) en la vía que del municipio de Cunday conduce al municipio de Icononzo, en la vereda Siberia. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

- **Formación Olini Medio (K2om)**

La Formación Grupo Olini Medio corresponde a la litología que separa las secuencias de liditas en el sector oriental del río Magdalena, el cual corresponde a un nivel de arenitas finas de cuarzo, blancas, con cemento silíceo, en capas delgadas a gruesas, planoparalelas y convergentes. Hacia la parte inferior del segmento ocurren esporádicas capas de lodolitas laminadas (INGEOMINAS, 2002a).

En la plancha 264-II-D, en la vereda la Siberia del municipio de Melgar, en la vía que del municipio de Cunday conduce al municipio del Carmen de Apicalá, se observa un afloramiento dado por el corte de la carretera con dimensiones aproximadas de 10 m de alto por 30 m de ancho, la roca presente está compuesta por areniscas de tamaños de grano muy fino, bien seleccionadas, en capas pequeñas a medias aproximadamente entre 5 - 25 cm, con intercalaciones de limolitas silíceas, y presenta meteorización principalmente por oxidación, el dato de estratificación medido es de 70/30 (Ver Figura 14).

Esta unidad también aflora en la plancha 264-II-A en las veredas Bolivia y Mortiño del municipio de Carmen de Apicalá.

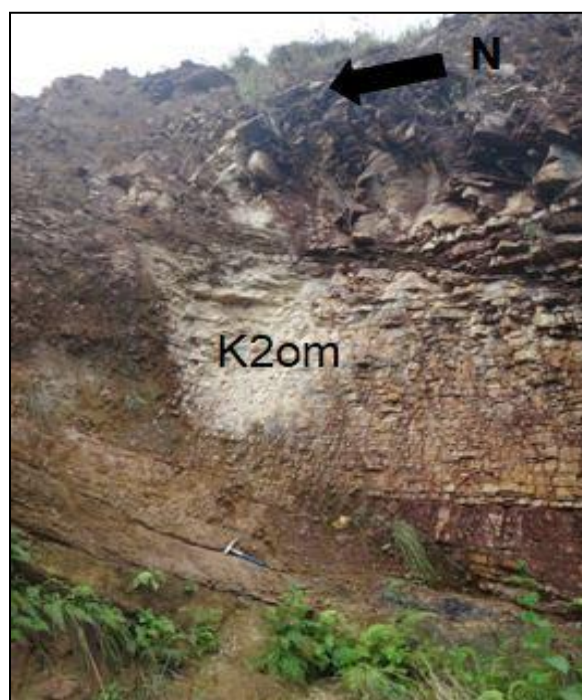


Figura 14. Afloramiento de la Formación Olini Medio (K2om) en la vía Cunday - Carmen de Apicalá, en la vereda Siberia. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

- Formación Lidita Superior (K2ls)

La Formación Lidita Superior corresponde a la parte superior del Grupo Olini, y hacia la zona occidental del río Magdalena tiene un espesor de 20 m, presentando capas delgadas de chert de hasta 25 cm de espesor, con delgadas intercalaciones de limolitas silíceas y cuarzoarenitas de grano muy fino, 2.5Y-8/4 según (Munsell, 1994), con estratificación plano - paralela continua (Ver Figura 15). Las limolitas silíceas se presentan en mayor cantidad y tienen alto contenido de escamas y restos de peces. El contacto superior, en el sector oriental del río Magdalena esta formación se caracteriza por ser una secuencia alternante de lodolitas negras, con intercalaciones de arenitas finas de cuarzo, blancas, con cemento silíceo, en capas medias y delgadas, plano paralelas, liditas, limolitas de cuarzo y chert, en capas delgadas, plano paralelas, con foraminíferos (INGEOMINAS, 2002c).

Aflora en las planchas 264-II-A en las veredas Antigua, Bolivia y Mortiño del municipio de Carmen de Apicalá donde se observan capas medias de liditas arenosas grises de tamaños entre 10 – 30 cm de espesor, intercaladas con capas delgadas de 5 cm de liditas grises muy fracturadas con una leve meteorización, con patinas de hierro en algunas capas. El dato de estratificación medido es de 98/54.



Figura 15. Afloramiento de la Formación Lidita Superior (K2ls) en la vía Pueblo Nuevo – Cumaca Vereda los Mentos. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.1.5. Formación La Tabla (K2lt)

La denominación de Formación La Tabla fue propuesta por De Porta, (1965) para nombrar un conjunto netamente detrítico que suprayace el Nivel de Lutitas y Arenas, el cual se presenta en el cerro de La Tabla (Tolima). Está constituida por una serie monótona de areniscas de cuarzo, medias a muy finas, blancas, con cemento silíceo, a veces calcáreo, en capas muy gruesas, convergentes y amalgamadas (INGEOMINAS, 2002a).

Esta unidad aflora al sur y suroriente de la población de Agua de Dios, al oriente del río Magdalena en el Cerro Negro, en la Serranía del Callejón y en la Peña Negra. En la cuenca del río Sumapaz aflora en los cerros que componen la vertiente noroccidental, en el municipio de Girardot en las planchas 245-II-D, 245-II-B y 246-I-C.

El contacto inferior es concordante con las liditas del Grupo Olini, mientras que el contacto superior está marcado discordantemente por una sucesión de conglomerados de cuarzo y liditas, subangulares, con matriz arenosa de la Formación Barzalosa. La base de la formación consiste en areniscas de capas medias con tamaño de grano medio, con esporádicas intercalaciones de lodolitas grises, que se hacen más comunes a medida que se asciende en la secuencia, el tope se encuentra compuesto por capas medias de conglomerados de gránulos de cuarzo y chert sub redondeados con matriz silícea.

En la vía que del municipio de Melgar conduce al municipio de Agua de Dios, en la vereda el Callejón, se observan capas delgadas con espesores entre 5 y 30 cm, compuestas por granos de arena con tamaño fino a medio, buena calibración y cemento silíceo. La roca se encuentra fracturada, muy meteorizada y oxidada, el dato de estratificación medido es 160/44. En general las capas de esta unidad se

encuentran buzando en dirección SE, siguiendo la inclinación que toma la pendiente estructural del Cerro Suarez. (Ver Figura 16).



Figura 16. Afloramiento de la Formación La Tabla (K2lt) en la vía que de Melgar conduce a Agua de Dios vereda El Callejón. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.1.6. Formación Guaduas (K2E1g)

Esta unidad fue definida por Hettner (1892) y (Hubach, 2002) para designar la secuencia estratigráfica que aflora al este del municipio de Guaduas, conformada por lodolitas y arenitas comprendidas entre el Grupo Guadalupe y la Formación Cacho (Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015).

Esta unidad se observa conformando los flancos de los sinclinales de Cabrera y Sumapaz; en este último las mejores exposiciones se observan sobre la vía entre la escuela Las Águilas y el Batallón de alta montaña, así como en la confluencia de la quebrada Verdenaz con el río Sumapaz, en el flanco occidental del sinclinal, mostrando una morfología ondulosa.

La unidad se encuentra en gran parte de la cuenca del río Sumapaz, siendo algunas de las planchas donde aflora la 246-III-B en la vereda Cucharal del municipio de Fusagasugá, 246-IV-B en la vereda Bradamonte de Sibaté y Colorados Altos de Pacas y 265-I-A, 265-I-C en los municipios de Icononzo y Pandi.

En la vía Cabrera - San Isidro, se observa un afloramiento de capas gruesas con espesores entre 20 - 60 cm y compuestas por areniscas de color 2.5Y-8/1 (Munsell, 1994), de grano medio con granos subangulares, mal seleccionada, con presencia de líticos en su mayoría moscovíticos y algunos de color negro. Los estratos en esta zona se encuentran verticalizados y plegados. (Ver Figura 17).

En la vía que de Tibacuy conduce al municipio de Fusagasugá, vereda El Cape, se observa un afloramiento caracterizado por capas de arenisca con intercalaciones de laminaciones lodosas; son areniscas líticas, de grano fino, subredondeados, buena calibración. La roca se encuentra poco fracturada, con baja meteorización y algunas

pátinas de óxido de hierro (jarosita), buzando hacía el SE, con dato de estratificación medido de 128/46.

Los estratos de la formación Guaduas de los flancos occidentales de los sinclinales se encuentran buzando hacia el Este, no obstante, en los flancos orientales de estas estructuras las capas buzando hacia el Oeste.



Figura 17. Afloramiento de la Formación Guaduas (K2E1g) en la vereda Alto Ariari del municipio de Cabrera.
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.1.7. Formación Seca (K2E1s)

La Formación Seca corresponde al nombre dado por De Porta (1965) para designar una sucesión lutítica de color principalmente rojizo - violáceo, que aflora en la quebrada Seca. El autor indica como localidad tipo la carretera Cambao-San Juan de Río Seco (INGEOMINAS, 2002c).

De Porta (1974) define la edad de la unidad como Maastrichtiano–Paleógeno. Los análisis de Martínez (1990) indican un ambiente fluvial con extensas llanuras de inundación. En la cuenca aflora en los cerros que componen la vertiente noroccidental en el municipio de Ricaurte, en las planchas 245-IV-A y 245-II-D, plancha 246-II-B en la vereda Buenavista del municipio de Melgar, plancha 264-II-D en la vereda Inalí del municipio de Carmen de Apicalá. La formación seca se encuentra constituida en su base por cuarzo areniscas finas, en capas medias a delgadas, intercaladas con lodolitas grises, subiendo secuencialmente se observan capas de arcillolitas rojizas intercaladas esporádicamente con algunas capas de areniscas finas, las cuales generan esas morfologías de colinas suavizadas.

En la vía que de Nilo conduce a Bellavista, en la vereda La Primavera, se observa una cantera abandonada, con un afloramiento de 14 m de altura por 89 m de longitud caracterizado por bloques angulares de lodolitas y areniscas de grano fino de color 7.5YR-8/4 a 7.5YR-7/8 según (Munsell, 1994) y de tamaño centimétrico embebidos en una matriz arcillosa, debido a la alta meteorización que se presenta, se observa transformación y degradación fisicoquímica que genera la formación de suelos saprolitizados, por ende no es posible medir planos de estratificación para la toma de datos estructurales. (Ver Figura 18).



Figura 18. Afloramiento de la formación Seca (K2E1s) en la vereda La Primavera en la vía que de Nilo conduce a Bellavista. Cantera abandonada. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.2. Unidades del Paleogeno (E)

3.1.6.2.1. Formación Cacho (E1c)

Hubach (1931) denomina horizonte del Cacho, al conjunto inferior ubicado en el piso Bogotá, el cual se caracteriza por presentar areniscas granulosas, de color amarilloso hasta ocre o rosado, con algunos bancos de arcillas abigarradas. Julivert (1963) para este horizonte utiliza el nombre de Formación Cacho, adoptado por la Colombian Society Petroleum Geologists and Geophysicists.

La formación presenta una litología en su base principalmente de areniscas friables, mientras que hacía el tope se observan areniscas de coloración blanca con algunas intercalaciones de arcillolitas y conglomerados. Tanto el contacto inferior con la Formación Guaduas y superior con la Formación Bogotá son concordantes. Aflora en la plancha 246-IV-A en las veredas Colorados Altos y Bajos del municipio de Pasca.

En la Figura 19, tomada en la estación SZ-006 (N: 974590 – E: 979715) en la vía Pasca-Media Naranja, se observa una arenisca cuarzosa medianamente calibrada en capas grandes, muy fracturada y friable, de tamaño de grano fino intercalada con capas de arcillolitas. Algunas diaclasas forman cuñas. Se considera que se depositó en un ambiente fluvial de ríos trenzados durante el Paleoceno tardío.



Figura 19. Afloramiento de la Formación Cacho (E1c) vía Pasca - Media Naranja, sobre la vereda Bradamonte, Pasca. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.2.2. Formación Bogotá (E1b)

Está unidad fue referenciada por Hubach (1945) y redefinida por el mismo autor en 1957. Forma parte del piedemonte de algunos cerros que bordean la cuenca del río Sumapaz. Su deposición ocurrió en un ambiente de llanura aluvial y de ríos meándricos, durante el Paleoceno tardío-Eoceno temprano (Helmès, 1990). Aflora a lo largo de los cerros orientales de la cuenca en las planchas 246-II-D y 246-II-B.

La formación Bogotá posee una secuencia de areniscas de granos medios intercalados con arcillolitas y limolitas grises en su base, mientras que al subir en su secuencia se encuentran intervalos granodecrecientes de areniscas muy finas a medio con arcillolitas de coloraciones 10R-7/8 a 10R-6/8 según (Munsell, 1994) finalmente en su tope es posible encontrar en esta formación capas delgadas a medias de areniscas de grano medio intercaladas con capas gruesas de arcillolitas rojiza. El reconocimiento de esta formación se realizó con base a la fotointerpretación y vistas panorámica, puesto que, al ser una unidad compuesta litológicamente por una predominancia de rocas arcillosas, estas generan una geomorfología de colinas y depresiones suavizadas con presencia casi nula de afloramientos. Estas características son apreciadas en la margen izquierda de la vía que de Sibaté conduce al municipio de Pasca, dentro de la vereda Bradamonte. (Ver Figura 20).

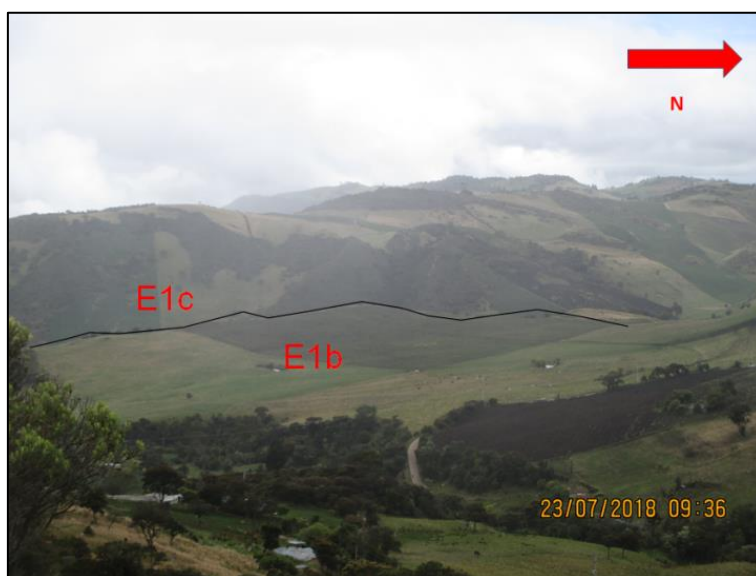


Figura 20. Panorámica formación Bogotá (E1b) en la vía Sibaté-Pasca, desde la vereda Bradamonte, Pasca.
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.2.3. Lodolitas de Fusagasugá (E2f)

Lodolitas de Fusagasugá es el nombre informal se le ha dado a una secuencia alternante de lodolitas y areniscas feldespáticas y líticas que en la cuenca del río Sumapaz forma parte del Sinclinal de Fusagasugá (Ver Figura 20). Esta secuencia presenta marcadas diferencias con la Formación Bogotá de la Sabana de Bogotá porque es una unidad relativamente más arenosa, presenta un espesor considerablemente mayor y está dispuesta de forma discordante sobre la Formación Guaduas (INGEOMINAS, 2002c). Laverde (1989) describe a estas rocas sedimentarias como una presentación anómala del Grupo Gualanday basándose en argumentos sedimentológicos y petrográficos.

En campo se observaron muy meteorizadas y fracturadas, generando depósitos de laderas o suelos residuales arcillosos, no cartografiables a la escala de estudio. De bajo grado de resistencia mecánica al ser golpeada con el martillo, considerándose geomecánicamente como una roca blanda

En la vía que de Batea municipio de Tibacuy, conduce al sector de Boquerón, se observa un afloramiento que consiste en capas medias de areniscas de grano grueso a medio, de buena calibración con intercalaciones de capas delgadas de lodolitas con colores 10R-7/8 a 10R-6/8 (Munsell, 1994) debido al grado alto de meteorización y gran presencia de arcillas.

También en una antigua cantera de la vereda Azafranal del municipio de Silvania sobre la vía Arbeláez-Boquerón se observan capas gruesas de lodolitas arenosas, intercaladas con capas medias a gruesas de areniscas lodosas, masivas, tabulares, con dato de estratificación 130/25.

La unidad aflora en la plancha 265-I-C en las veredas Dos Quebradas, el Mesón y El Triunfo en el municipio de Icononzo, en la plancha 265-I-D en las veredas San Miguel, San Bernardo, Diamante y Las Mercedes del municipio de Pandi y la plancha 265-I-B en las veredas Salitre, San Luis, San Miguel del municipio de Arbeláez. La inclinación de sus capas se da en dirección Este, salvo en el flanco oriental del Sinclinal de Cabrera, en donde estas buzcan hacia el Oeste.



Figura 21. Afloramiento de la Formación Lodolitas de Fusagasugá (E2f) en la Vereda Quebrada Honda, municipio de Silvania. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.2.4. Formación Barzalosa (E3b)

Formación Barzalosa fue el nombre establecido por Scheibe (1934) para describir, con el rango de piso, una secuencia de lodolitas rojas con intercalaciones de arenitas y conglomerados que afloran en las cercanías al caserío de Barzalosa al noroccidente de Girardot. En ese lugar el autor estableció la localidad tipo. Luego la unidad fue elevada al rango de formación por Cáceres & Etayo (1969b) quienes la dividieron en cuatro conjuntos (INGEOMINAS, 2002a) (Ver Figura 22).

La descripción de la unidad se hace con base en afloramientos aislados observados en las veredas Agua Fría y Malachí ubicadas al sur de Tocaima. Hacia este sector la unidad está constituida en su parte inferior por una serie de conglomerados, con cantos subangulares de 12-20 cm de diámetro, de limolitas silíceas con restos de foraminíferos (provenientes posiblemente del Grupo Olini) embebidos en una matriz de arenita media a gruesa de cuarzo, color pardo, en capas gruesas a muy gruesas, con estratificación ondulosa no continua. El espesor medido para este conjunto es de 50 m (INGEOMINAS, 2002c).

No existen datos paleontológicos de la Formación Barzalosa en su área tipo, por lo tanto, su edad se deduce de la posición estratigráfica que ocupa entre la Formación Seca y el Grupo Honda. De Porta (1965) asume una edad ¿oligocena? - ¿miocena? Sin embargo, la presencia de unidades de conglomerados de edad eocena media en

contacto discordante sobre formaciones de edad cretácica podría indicar que la base de esta unidad corresponde a esta misma edad. Se correlaciona a la Formación Barzalosa con las formaciones Gualanday Inferior y Gualanday Medio, así como a la parte inferior de la Formación San Juan de Río Seco (INGEOMINAS, 2002a).

El conjunto superior se encuentra constituido por arcillolitas abigarradas, las cuales forman un extenso valle. Aflora en los alrededores de los municipios de Girardot, Tocaima y Agua de Dios, en las planchas 245-IV-A, 245-IV-B, 245-II-D y 246-III-A.

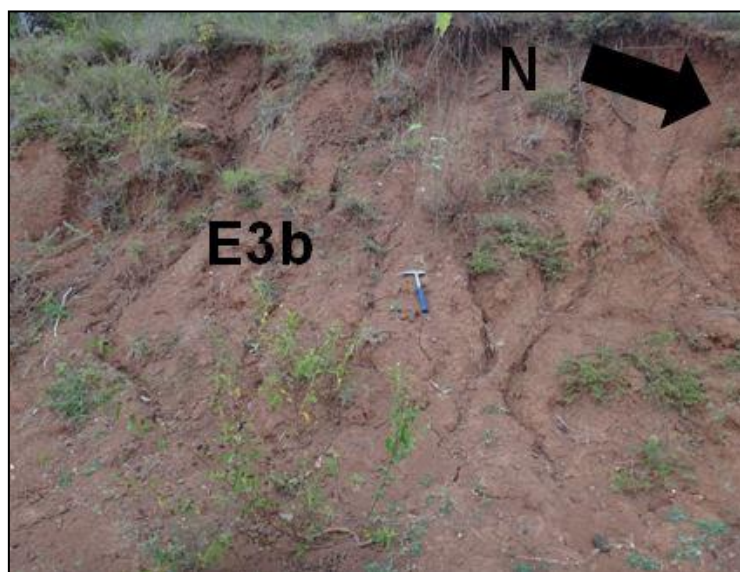


Figura 22. Panorámica de la Formación Barzalosa (E3b) con sus capas subhorizontales y suelos residuales que genera, en la vereda la Sonora sobre el municipio de Nilo. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018.

3.1.6.2.5. Conglomerados de Carmen de Apicalá (E3n1cca)

El nombre de Conglomerados de Carmen de Apicalá se emplea para denominar informalmente a una espesa secuencia de conglomerados que aflora sobre la Formación Barzalosa al sur de Pueblo Nuevo y que se extiende al sur hasta el municipio de Carmen de Apicalá. Esta unidad está conformada por una secuencia de conglomerados de cantos de gravas, de cuarzo y chert, subredondeados, en una matriz de arena de cuarzo y líticos, en capas muy gruesas a gruesas, que se desarrollan en secuencias gradadas (INGEOMINAS, 2001).

Caicedo y Terraza (2000), consideran que el contacto inferior es neto con la Formación Seca en el sector de Melgar y discordante sobre rocas del Cretáceo Superior en el flanco occidental del Sinclinal de Carmen de Apicalá. El contacto superior es discordante con las rocas sedimentarias del Grupo Honda y neto e irregular con la Formación Barzalosa.

Con base a lo observado en campo, se determinó que la unidad presenta capas medias a gruesas, compuestas por conglomerados de chert y cuarzo, con diámetros que van desde 1 cm hasta 10 cm, en algunos sectores presenta matriz arenosa-lodosa, mientras que en otros se registró matriz lodo-arcillosa, de coloración 2.5Y-8/4 según (Munsell, 1994) en algunos sectores con meteorización posee coloración

amarilla pardo. Aflora en la vía que de Carmen de Apicalá conduce a la finca el Recuerdo, al costado occidental de la cuenca del río Sumapaz, en la vía que del municipio de Girardot conduce al municipio de Carmen de Apicalá, donde se observa un afloramiento de roca muy meteorizada, de color amarillo pardo, no se evidencia estratificación ni familias de diaclasas. La roca es de matriz lodosa con abundancia de clastos subredondeados de tamaños entre 1 y 5 cm. En el municipio de Carmen de Apicalá en las planchas 245-IV-C y 245-IV-D en la vereda Bolivia, al occidente de la Plancha 264-IV-A en las veredas Camarones y Sinaí. Igualmente aflora en el extremo occidental de la Plancha 265-I-A en las veredas Montecristo y Portachuelos del municipio de Icononzo.

Esta formación se encuentra dentro del área de estudio en los flancos del sinclinal de Carmen de Apicalá, sobre la vía que de Carmen de Apicalá conduce a Cunday, en la vereda Charcón del municipio de Carmen de Apicalá, se obtuvo el dato medido de estratificación de 215/15, en una exposición de más de 100 m de ancho por 50 m de alto de roca conglomerática compuesta por clastos de chert y cuarzo de tamaños entre 1 y 15 cm, embebidos en una matriz lodosa. En la vía que de Carmen de Apicalá conduce a Melgar, 5km antes de llegar al Paraíso, la disposición de las rocas es similar con un dato estructural de 232/12. (Ver Figura 23).

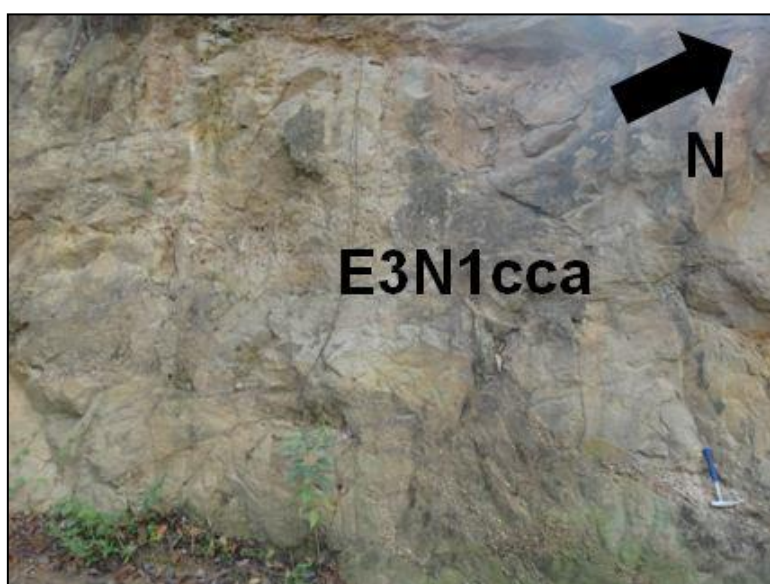


Figura 23. Panorámica de los Conglomerados de Carmen de Apicalá (E3N1cca) en la vereda Mortino, del municipio Carmen de Apicalá. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.3. Unidades del Neogeno (N)

3.1.6.3.1. Grupo Honda (N1h)

Esta unidad corresponde al nombre introducido por Hettner (1892) derivado de la población de Honda (Tolima), para designar una arenita típica de color 5Y-7/6 según (Munsell, 1994). Su localidad tipo fue establecida en la cordillera de San Antonio, al este de la población de Honda (INGEOMINAS, 2002b).

En la vía que del municipio de Agua de Dios conduce al municipio de Girardot, en el poblado de San Marcos se distinguen dos niveles de esta unidad. El inferior consta de capas gruesas de arenitas conglomeráticas, verdes a amarillas, feldespáticas y líticas, con cantos de andesita y rocas metamórficas, con presencia alta de micas, a veces calcáreas, con alto contenido de minerales pesados; intercaladas ocurren capas delgadas a medias de lodolitas rojas a abigarradas, las cuales forman pequeños valles. El nivel superior se encuentra representado por una sucesión alternante, más marcada, de arenitas cuarzo feldespático, de grano medio a conglomeráticas, verde, amarillo, micáceo, algo calcáreo, con cantos de andesitas, en capas gruesas, con estratificación cruzada tangencial de bajo ángulo, intercalados con capas gruesas de arcillolitas físis, abigarradas. En este nivel es común encontrar niveles de concreciones de arenita bastante calcárea (INGEOMINAS, 2002b).

De Porta (1966) determina que las rocas sedimentarias del Grupo Honda se depositaron en un medio continental de tipo lagunar, afectada por ríos con sedimentación tranquila, que se hace más fuerte hacia el tope de la unidad (INGEOMINAS, 2002b).

Esta unidad aflora en los alrededores de los municipios de Ricaurte, Carmen de Apicalá y Agua de Dios, en las planchas 245-IV-A, 245-IV-B, 245-IV-C, 245-IV-D, 245-II-D y 246-III-A.

El Grupo Honda yace discordante sobre el Paleógeno en el sinclinal de Carmen de Apicalá y el contacto superior es discordante con depósitos cuaternarios de los abanicos de Espinal, aluviones y terrazas aluviales.

Está constituida por capas delgadas de areniscas de color gris amarillento con intercalaciones de arcillolitas de color verde claro. Las arenitas son de grano medio, subangular, con mala selección, compuestas por cuarzo, chert, fragmentos de feldespato. Se observaron capas conglomeráticas con clastos subredondeados a redondeados, selección media a buena, de cuarzo, chert negro, líticos de color verde. El grupo Honda se encuentra muy meteorizado y erosionado por lo que no se reconocieron buenas secciones aflorantes de esta unidad,

En la plancha 245-IV-C, en la vereda el Paso del municipio de Ricaurte, se observa un talud de carretera que expone rocas en capas gruesas de geometría lenticular, conglomeráticas con clastos de cuarzo y chert subangulares de tamaños entre 2 – 5 cm de diámetro, muy meteorizada perteneciente al Grupo Honda, la roca es muy friable y en este punto presenta erosión en cárcavas. (Ver Figura 24).

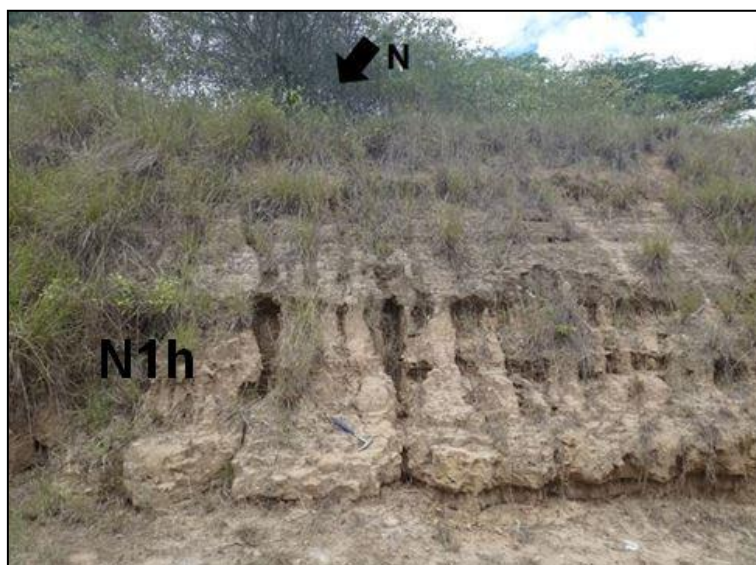


Figura 24. Afloramiento del Grupo Honda (N1h) en la vereda El Paso, Ricaurte
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.6.4. Unidades del Cuaternario (Q)

3.1.6.4.1. Depósitos de Morrenas (Q1m)

Estos depósitos consisten en una masa de bloques angulares, desde algunas decenas de centímetros hasta 10 m de diámetro, especialmente de areniscas de cuarzo, en una matriz areno-arcillosa, sin selección alguna; presentan una morfología de relieve moderado en cuchillas, paralelas a las corrientes actuales y con extensiones hasta de 2km.

Algunos de estos depósitos están afectados por fallas activas. Según Oppenheim (1940) y Van der Hammen (1957), en el Páramo de Sumapaz se han presentado varios eventos de glaciación, con los cuales se puede asignar una edad del Pleistoceno a las morrenas que se presentan en el área de estudio (INGEOMINAS, 2001).

Los depósitos de morrenas se encuentran depositados sobre rocas del grupo Guadalupe principalmente, aunque también se encuentran algunas ventanas de poca extensión de las formaciones Guaduas y Lodolitas de Fusagasugá, esto debido a la estructura sinclinal que se presenta en la zona de depositación de los depósitos. Asimismo, los bloques de tamaños superiores a 1 m de diámetro proceden de la erosión glaciaria de estas rocas, presentan matriz limo arenosa muy fina que se encuentran embebiendo clastos subangulares de rocas cuarzosas, con contenidos de micas y líticos.

Estos depósitos poseen una gran extensión hacia el oriente de la cuenca, en el sector del páramo de Sumapaz. Esta unidad se encuentra en el municipio de Pasca en la plancha 246-IVA dentro de las veredas Colorados alto y el Tendido, en la plancha 246-IVC en las veredas la Cajita, Corrales y Costa Rica. En la plancha 265-IIA la unidad

está depositada en el municipio de Pasca sobre las veredas Juan Viejo y Quebradas, en el municipio de Arbeláez en la vereda Salitre y en el municipio de San Bernardo en la vereda el Pilar. En la plancha 265-IIC se localiza nuevamente en el municipio de San Bernardo en la vereda el Pilar y en las veredas San Antonio y el Toldo, jurisdicción del Distrito de Bogotá. En la plancha 265-IVA en el Distrito de Bogotá dentro de las veredas Chorreras, las Vegas, el Toldo y Lagunitas. En las planchas 284-IIA, 284-ID y 284-IB los depósitos se localizan dentro de la vereda San José, jurisdicción del Distrito de Bogotá, asimismo en esta última plancha se encuentra en la vereda las Águilas del municipio de Cabrera. En la plancha 265-IIID en las veredas Nueva Granada y Concepción pertenecientes al Distrito de Bogotá.

En la plancha 246-II-A, sobre la vía Pasca - Media Naranja, en la vereda Juan Viejo del municipio de Pasca, se observa un depósito de morrena con un espesor aproximado de 20 metros, y se caracteriza por presentar bloques angulares con un tamaño entre 50 cm y 2 m embebidos en una matriz arcillo limosa. Están compuestos por cuarzoarenitas de tamaño medio a fino, moderadamente seleccionados, con un contenido del 5% de líticos.

3.1.6.4.2. Depósitos Fluvioglaciares (Q1f)

Consisten en cuerpos sedimentarios que cubren rocas más antiguas, a lo largo de pequeñas quebradas que se infieren tuvieron un origen asociado a drenajes provenientes de glaciares. Están constituidos por bloques y cantos, angulares a subredondeados de areniscas, provenientes del Grupo Guadalupe, los cuales se encuentran embebidos en una matriz de arena gruesa a arcilla (INGEOMINAS, 2002c).

Los depósitos fluvioglaciares cubren gran cantidad del terreno, localizándose en distintas planchas y municipios. En el municipio de Granada estos depósitos afloran en las planchas 246-IIA dentro de las veredas la Playita, Guamal, Santa fe, San José y Sabaneta, como a su vez en la plancha 246-IB en las veredas el Ramal, la Veintidós y San José Bajo. En la plancha 246-ID se localiza en la vereda Noruega Alta del municipio de Silvania. En la plancha 246-IIC en las veredas Noruega Alta, San Luis Alto, Victoria Alta y Agua Bonita del municipio de Silvania y la vereda el Peñón de Sibaté. En la plancha 246-IIB se localiza sobre el río Barroblanco y sus alrededores, en la división de los municipios de Silvania y Fusagasugá. En la plancha 246-IVA en las veredas los Robles y San Rafael, de Fusagasugá, las veredas el Peñón y Bradamonte, pertenecientes a Sibaté y las veredas de Silvania, Colorado Bajo, Colorado Alto, Sabanera y el Bobal. En la plancha 246-IVC dentro del municipio de Fusagasugá en las veredas Santa Lucía y Carmen; en el municipio de Silvania, en las veredas el Zaque, la Mesa, Altagracia, Santa Teresita, Lázaro Fonte, Saldúa, Corrales y San Juan Viejo. En la plancha 265-IIA en la vereda Salitre de Arbeláez, Las veredas el Carmen y Quebradas de Pasca y el Pilar de San Bernardo. En la plancha 265-IIC en las veredas del Distrito de Bogotá, San Antonio y Toldo. En la plancha 265-IVA en las veredas Las Vegas, Capitolio, San Juan y Santo Domingo, jurisdicción de Bogotá. En la plancha 265-IVC en las veredas Bogotanas Concepción, Tunal Ato y Nueva Granada. En la plancha 265-IIID sobre la vereda Nueva Granada del Distrito

Bogotano. En la vereda San José del Distrito Capitalino abarcando las planchas 284-IB, 284-IIA y 284-ID.

En la vía que de Pasca conduce a Media Naranja, en la vereda Juan Viejo del municipio de Pasca en la plancha 265-II-A, se observa unos depósitos fluvioglaciares en contacto discordante sobre rocas del Grupo Guadalupe. En la plancha 265-II-A, en la vía que de Pasca conduce a la vereda Media Naranja 1km después de la escuela, se observa un depósito fluvioglacial en un afloramiento de 7m de ancho por 5 m de alto en sentido SW. Éste se presenta heterogéneo, pobremente seleccionado, clasto-soportado, los tamaños de los clastos son de centimétrico a tamaño bloque. La angulosidad aumenta a medida que aumenta el tamaño de los clastos, no se presenta gradación. Este tipo de depósito se observa ocupando una gran extensión en el terreno.

3.1.6.4.3. Depósitos De Abanico Fluviotorrenciales (Q1aft)

Corresponde a depósitos clasto-soportados formados por la acción entre cauces o corrientes antiguas y el cambio de pendiente en su trayecto, producto de la desglaciación ocurrida en la parte alta del páramo de Sumapaz. La corriente fluye rápidamente en las zonas superiores debido a las altas pendientes; el cambio repentino de pendiente a una zona más tendida, produce una disminución en la velocidad, por lo que los materiales que arrastraban estos cauces, extendieron su cauce en un abanico (GEOCING, 2018).

Esta unidad geológica cubre una extensión considerable en la cuenca. En el municipio de Fusagasugá se localiza en las planchas 246-II-A y 246-IV-C en la vereda Alto Molino, en la plancha 246-III-D en las veredas La Venta, Mosqueral, Bethel, la Puerta y en todo el casco urbano de Chinauta. En la plancha 246-III-B en la cabecera municipal del municipio de Fusagasugá. En el sector que corresponde a la cuenca del Valle Superior del Magdalena se ubica esta unidad dentro del municipio de Nilo, en las planchas 245-IV-D y 264-II-B, en la zona conocida como Tolemaida.

Presentan gran extensión y morfología plana, como se evidencia en la vereda San José en el municipio de Arbeláez donde aparece limitado por paredes subverticales a verticales. Su espesor es variable, pero puede llegar a alcanzar los 200 metros como se midió con ayuda de GPS y de topografía, en el escarpe en la zona posterior del Hotel Chinauta Real, sobre la margen izquierda del río Chocho, en el sector de Chinauta.

También se pudo observar en el afloramiento de dimensiones de 15 m de alto por 80 m de ancho, conformado por gran cantidad de material aluvial como cantos y bloques de arenisca, de muy buena consistencia, con esfericidad y redondez variables embebidos en una matriz predominantemente arcillosa. Con coloraciones habano oscuro, en ocasiones presentan lentes de arenas y limos.

Hacia el sector de Chinauta y Boquerón (SW), municipio de Fusagasugá, su extensión horizontal se reduce y su forma se alarga debido a un amplio control estructural que rodea el sector. Durante su etapa de deposición, fue confinado al noroeste por rocas

cretáceas del Grupo Guadalupe y la Formación Chipaque, ocasionando que su extensión alcance el municipio de Tolemaida, considerado como el ápice del abanico.

3.1.6.4.4. Terrazas aluviales altas (Q1t)

Las terrazas aluviales altas presentan una extensión limitada en la cuenca del río Sumapaz y tienen alturas entre 10 y 15 m. La mayoría reposan sobre rocas del Grupo Honda, y forman pequeñas mesetas sobre las partes altas de estas rocas (INGEOMINAS, 2002b).

En la cuenca se pueden encontrar estos depósitos en las siguientes planchas: 246-IVA sobre la vereda Colorados Alto de Silvania. En la plancha 246-IVC en las veredas de Silvania, Boca de Monte, el Tendido y la Mesa. 246-IIID dentro del municipio de Fusagasugá en las veredas la Isla, Mesitas, Gravio y Placer, mientras que, en el municipio de Arbeláez en las veredas de San José, San Roque, Hato Viejo y en la cabecera municipal. En la plancha 246-IIB en las veredas Usatama (Fusagasugá) y San José del Chocho (Silvania). En la plancha 265-IB dentro de las veredas Santa Rosa y San Luis del municipio de Arbeláez y en el municipio de San Bernardo en las veredas San Miguel, Pirineos y la cabecera municipal. La plancha 265-IIIB cuenta con esta unidad en las veredas Paquilo y la Cascada del municipio de Cabrera, Cundinamarca. En la plancha 265-IIID se encuentran terrazas altas en la vereda Pueblo Viejo de Cabrera. La plancha 264-IIB presenta la unidad bordeando la cabecera municipal de Carmen de Apicalá y en la vereda Apicalá, jurisdicción de Melgar. En la plancha 245-IVD dentro del municipio de Nilo en la vereda Cobos y en el municipio Ricaurte, tanto en su casco urbano como en la vereda limoncitos. En la plancha 246-IIIC en la vereda Aguadiocito del municipio Nilo.

En la plancha 246-III-C, en la vereda Boquerón del municipio de Fusagasugá, en la vía que de Melgar conduce a Fusagasugá, se observa una terraza aluvial alta de 8 m de alto. Es clastosoportada, con tipo gradación inversa y está constituida por bloques, cantos y guijos de subangulares a angulares en su mayoría de arenitas bien seleccionadas de tamaño medio a fino embebidos en una matriz arcillosa.

3.1.6.4.5. Depósitos Coluviales antiguos (Q1c)

Corresponde a depósitos de media ladera originados por movimientos en masa y que se depositaron hacia la base de las laderas, en especial aquellos generados por en los Grupos Guadalupe y Olini; normalmente son depósitos caóticos y de muy poca extensión (INGEOMINAS, 2001). Consta de fragmentos desprendidos de las rocas provenientes de las formaciones adyacentes, principalmente de limolitas, arenitas y lodolitas. Se presentan algunos coluviones que pueden alcanzar espesores hasta de 15 m (Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015).

Estos depósitos se localizan en forma muy dispersa por toda la región de la cuenca del río Sumapaz, destacándose por su mayor extensión aquellos que se localizan en las laderas que bordean los sistemas de fallas principales, como los ubicados cercanos a los sistemas de fallas de Quininí (plancha 265-IA), Venecia (plancha 265-ID) y Paramo (plancha 264-IVA).

Con base a las apreciaciones en campo se determinó que están compuestos por una matriz limo-arenosa, con bloques heterométricos, con diámetros entre 1 m hasta 5 m, subangulares a subredondeados, los bloques más destacables provienen de los grupos Guadalupe y Olini, por lo que están compuestos en general por arenas de tamaños de grano muy fino a medio, con material vegetal cubriéndolos en muchos casos y en ocasiones con muestras de oxidación.

Sobre la vía que comunica al casco urbano del Municipio de Melgar con el campo petrolero Guando, dentro de la vereda Guamitos en la finca Pamicharla, se observó un depósito coluvial antiguocompuesto por bloques grises y cafés, de tamaños heterométricos que van desde los 20 cm hasta 1,5 m de diámetro, subangulares, de areniscas de areniscas, embebidos en una matriz areno-limosa, cubierta por una capa vegetal tipo rastrojo medio.

3.1.6.4.6. Terrazas aluviales bajas (Q2tb)

Están asociadas a la dinámica fluvial del río Sumapaz, y están compuestas por gravas, cantos, bloques de areniscas cuarzosas y lodolitas silíceas, con diámetros heterométricos de hasta 3 m, que varían desde subredondeados a angulares, en una matriz areno-limosa, de color amarillo rojizo. La selección es de regular a mala. La mayoría de los componentes provienen del Grupo Guadalupe, Grupo Olini y conglomerados de Carmen de Apicalá (Ángel & Pérez, 1989). Según Hubach (1931), estas terrazas son del Pleistoceno tardío (INGEOMINAS, 2001).

En la plancha 265-I-C, vereda Balconcitos del municipio de Icononzo, en la vía que conduce de Aposento a Icononzo, se observa en una vista panorámica esta unidad de terrazas aluviales bajas en uno de los afluentes del río Sumapaz.

Sobre la Vía Pasca - vereda San Pedro. Aguas abajo del río Cuya a la margen izquierda se observa un depósito de terraza baja o reciente, con morfología lenticular, en donde se observan intercalaciones de niveles de gravas y bloques heterométricos que van desde los 30 cm hasta los 80 cm de diámetro, subredondeados a redondeados, embebidos en una matriz arenosa.

3.1.6.4.7. Depósitos Aluvio Torrenciales (Q2alt)

Depósitos aluviales compuestos por bloques heterométricos, subredondeados a subangulosos, de matriz de textura limo-arenosa, con espesores variables, localizados en zonas de alta y mediana montaña, producto de un tipo de movimiento en masa caracterizado por el flujo rápido de una mezcla caótica de sólidos y agua que pueden desplazarse a grandes velocidades, estos eventos suelen ocurrir durante temporadas de lluvias y los de mayor extensión en las temporadas de lluvias anómalas. Se reconocieron estas unidades mediante la fotointerpretación.

Estos depósitos se localizan en los afluentes de los ríos principales, por ejemplo, la quebrada Negra (Cabrera), quebrada la Melgara (Melgar), Quebrada Pekín (Fusagasugá), Quebrada la Yauta (Tibacuy) y/o quebrada la Barrioalosa (Agua de Dios), como en los ríos Batán (Fusagasugá) y Guavio (Arbeláez).

Estos depósitos se caracterizan por baja vegetación usualmente de tipo rastrojo, el material rocoso se presenta como clastos subredondeados a subangulares, embebidos en matrices arcillo-limosas, con desarrollo de lamas sobre los bloques. se aprecia un depósito fluviotorrencial sobre el río Pagüey, detonado por fuertes lluvias, con remoción y transporte de bloques con diámetros que van desde los 30 cm hasta 1,6 m, subangulares, los bloques productos de eventos más antiguos se encuentran altamente meteorizados y presentan desarrollo de vegetación en su superficie.

3.1.6.4.8. Depósitos aluviales recientes (Q2a1)

Están asociados principalmente a los ríos y quebradas que actualmente drenan el área de estudio. Su composición incluye intercalación e interdigitación de lentes de: arenas, gravas, bloques de diferente composición incluyendo cantos de chert negro y pardo, limolitas silíceas y areniscas cuarzosas, principalmente. Corresponden a acumulaciones en áreas restringidas, con espesores delgados que se han depositado en el fondo de los valles de los ríos y quebradas en la cuenca del río Sumapaz (INGEOMINAS, 2002b).

Estos depósitos son encontrados en todas las planchas y municipios de la cuenca, se presentan en los ríos principales, como el río Sumapaz, el río Subia, el río Chocho, río Cuja, río Pagüey, río Panches y el río Barroblanco, como algunas quebradas con un caudal apreciable a la escala, como la quebrada Negra, la quebrada la Melgara y la quebrada Honda. En la vereda San Roque del municipio de Fusagasugá se observa el depósito aluvial reciente del río Cuja compuesto por lodos, arenas, gravas y bloques, estos últimos son heterométricos. El río Cuja tiene su cauce al sur del abanico fluviotorrencial de Fusagasugá y desemboca en el sector de Boquerón en el río Sumapaz.

3.1.6.4.9. Depósitos aluviales activos (Q2a1a)

Son depósitos transportados constantemente por los cauces actuales, activos y principales. Se componen de bloques heterométricos hasta de 3 m de diámetro, redondeados y subredondeados, con esfericidad media a alta, de areniscas de grano fino a medio, embebidos en una extensa matriz de textura: limo – arenoso, no consolidados. Se encuentran en tonalidades que van desde el café carmelita hasta grises oscuros. Estos depósitos se localizan en toda la cuenca, pero se destacan los asociados al cauce del río Sumapaz y sus principales afluentes: los ríos Cuja, Chocho, Pilar, Pagüey, Subia, Panches y San Juan. Se presenta esta unidad dentro del cauce activo del río Panches, donde se observan bloques heterométricos, subredondeados con coloraciones grises y cafés, de diferentes composiciones, siendo constantemente erosionados y transportados por los cauces activos.

3.1.6.4.10. Depósitos Coluviales recientes (Q2c)

Están constituidos principalmente por acumulaciones de materiales transportados por acción hidrogravitacional. Se componen generalmente de bloques subangulares a angulares con mala selección, embebidos en materiales lodosos, arcillosos y

arenosos. Los coluviones más extensos se observan al SW del Sinclinal Carmen de Apicalá y al SE de Melgar y están constituidos por bloques y cantos desprendidos de los escarpes que forman los Conglomerados de Carmen de Apicalá y Grupo Olini (INGEOMINAS, 2002b).

Estos depósitos se localizan de manera errática y dispersa por la zona de estudio, con mayor concentración en el sector oriental correspondiente a la cuenca Cordillera Oriental

Según las observaciones realizadas en campo los depósitos coluviales recientes (Q2c) en la cuenca se encuentran constituidos por bloques heterométricos que van desde 6 cm de diámetro hasta 5 m de diámetro, estos son angulares a subangulares, las composiciones de los mismos son muy variadas, debido a que esta misma depende de la roca donde provenga el depósito, la matriz en la que se encuentran los bloques suele ser arcillo – limosa. Presentan coloraciones que van desde un gris pardo hasta un habano oscuro, en algunos bloques caídos exhiben rasgos de oxidación.

En la vereda Nuevo Mundo del municipio de Icononzo, se observa la composición de un coluvión que fue removido por un deslizamiento. Es un depósito heterogéneo con clastos subangulares de diversos tamaños, desde 8 cm hasta 1,2 m, los bloques están compuestos principalmente por arenas de tamaños finos a medios, el depósito es matriz soportado en arcilla, de color café carmelita.

3.1.7.GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

La cuenca del río Sumapaz se encuentra localizada en una región que presenta una alta complejidad estructural como resultado de la interacción de diferentes episodios de actividad tectónica, entre los que se destacan un periodo de extensión durante el Cretácico temprano y posteriormente un periodo compresivo durante la Orogenia Andina, desarrollada a partir del Mioceno Medio, que originó el levantamiento de la Cordillera Oriental lo que dio origen a las fallas y pliegues que se observan en la actualidad.

La falla de Quininí divide la cuenca del río Sumapaz en una región oriental donde se encuentran unidades geológicas nombradas bajo la nomenclatura de la cuenca Cordillera Oriental y una región occidental donde afloran las unidades pertenecientes a la cuenca del Valle Superior del Magdalena, en el sector occidental el Sinclinal de Carmen de Apicalá es la estructura regional de mayor importancia. Limitando al oriente de este pliegue se ubica el sistema de fallas el Páramo, con una vergencia N35°E el cual presenta una serie de cabalgamientos en las rocas del Cretácico y sobre la unidad de Conglomerados de Carmen de Apicalá.

La región oriental cuenta con una mayor cantidad de estructuras regionales, con una serie de pliegues anticlinales y sinclinales como producto del estilo tectónico de compresión regional que generó sistemas de fallas de tipo inverso con vergencia hacia el noreste.

3.1.7.1. Fallas

La cuenca del río Sumapaz se encuentra controlada estructuralmente por fallas de cabalgamientos, puesto que, aunque la depositación de las unidades se dio en un ambiente extensional durante el cretácico y parte del paleógeno, los eventos tectónicos que generaron el levantamiento de la cordillera oriental en la segunda parte del periodo paleógeno, generaron la inversión de estas fallas y desarrollaron el ambiente tectónico compresivo. Las fallas presentes en la cuenca en vista de planta se observan con una dirección predominante SW-NE, y la dirección de los cabalgamientos es usualmente en sentido NW.

3.1.7.1.1. Falla la Cajita

Es una estructura de cabalgamiento con dirección aproximada norte-sur y con buzamiento al oriente y vergencia al occidente, con una leve componente dextral. Esta falla presenta actividad tectónica reciente y en campo se evidencia porque corta morrenas glaciares (INGEOMINAS, 2001).

La falla de la Cajita fue identificada por medio de interpretación fotogeológica en el sector noreste de la cuenca y se localiza en el municipio de Pasca. Se determinó debido a un lineamiento en este sector con sentido NE y a que en esta zona se presenta una topografía escarpada, separada por grandes extensiones de valles profundos de origen glaciar y morrénicos. Es posible localizarla en la plancha 246-IV-C sobre la vereda la Cajita en el municipio de Pasca, igualmente en la plancha 246-IV-A, sobre las veredas: El Tendido, Colorados Alto, Colorados Bajo y Romeral pertenecientes al municipio de Pasca.

3.1.7.1.2. Falla Fusagasugá-Aguadita

La traza de la Falla de Fusagasugá se presenta al oriente de Fusagasugá y se extiende en la región de estudio hacia el norte de la cuenca, mientras que hacia el sur alcanza hasta el municipio de Arbeláez. Es una falla de cabalgamiento, con dirección aproximada N10°E, vergencia al occidente y que buza hacia el oriente. Se evidencia en campo ya que rocas del Grupo Guadalupe cabalgan sobre rocas de la unidad Lodolitas de Fusagasugá y de la Formación Guaduas. Esta estructura se puede observar por el carretable Sibaté-La Aguadita-Fusagasugá, en donde por efecto de la falla, se presenta gran cantidad de deslizamientos (INGEOMINAS, 2001).

Esta falla corresponde a un lineamiento que se presenta en el borde del cerro Fusacatán presentando un lineamiento con vergencia NE, en el que se evidencia un contacto fallado entre la formación Guaduas y la formación Labor y Tierna, producto de los procesos de levantamiento de la Cordillera Oriental, generando ese cabalgamiento.

La falla de Fusagasugá – Aguadita cuenta con una gran extensión abarcando 4 planchas a escala 1: 25.000. En la plancha 246-III-D se puede observar en la vereda Batán correspondiente al municipio de Fusagasugá. En la plancha 246-IV-C encuentra su trazo dentro del municipio de Pasca, sobre las veredas: Alta García, San Pedro San Pablo y Alto del Molino. Para la plancha 246-IV-A esta falla sigue su recorrido a

través del municipio de Pasca en las veredas: Alto del Molino, San Joaquín, Guchipas y Providencia, mientras que en el municipio de Fusagasugá se le observa en la vereda Los Robles. En su sector más norte esta falla pasa por el municipio de Silvania, sobre las veredas Agua Bonita, Victoria Alta y Jalisco.

Sobre la vía que comunica Fusagasugá con la Aguadita. Se observa el cabalgamiento de la Falla de Fusagasugá, la cual pone en contacto las unidades del Grupo Guadalupe con la unidad Lodolitas de Fusagasugá. En el trazo de la falla se aprecia un cambio de pendiente, la cual genera una colina compuesta por depósitos cuaternarios, probablemente asociados a la acción de la falla.

En el norte de la cuenca se le denomina a la Falla Fusagasugá como la Falla de la Aguadita. Allí se observa como la falla de la Aguadita pone en contacto rocas del cretáceo pertenecientes al Grupo Guadalupe con la Unidad Lodolitas de Fusagasugá, la cual data del periodo Eoceno. Debido al ambiente compresional de la zona durante los procesos de levantamiento de la cordillera oriental, se generó esta falla de cabalgamiento o de componente inverso.

3.1.7.1.3. Falla Silvania

Es una falla de extensión considerable, de tipo inverso, con vergencia al oriente y sobrepone rocas de la Formación Guaduas sobre Lodolitas de Fusagasugá. Se ubica en el sector nororiental de la cuenca, en el municipio de Silvania y tiene un rumbo aproximado N35E (GEOCING, 2018).

Esta falla se encuentra en la plancha 246-II-B, en el municipio de Silvania sobre las veredas Bosachoque, Usatama, Santa Rita Alta y Quebrada Honda. De igual forma es posible apreciar su trazo en la plancha 246-I-D, en su paso por las veredas Quebrada Honda, San Luis, Victoria Alta, Noruega Alta y Subia Central, pertenecientes al municipio de Silvania, Cundinamarca.

3.1.7.1.4. Sistema de Fallas Quininí

Debe su nombre al Cerro Quininí ubicado en sector Boquerón vía Fusagasugá-Melgar. Consiste en un sistema de fallas de cabalgamiento imbricadas, con planos inclinados al oriente, y vergencia al occidente, con dirección aproximada N10°E y en campo se evidencia debido a que corta otras estructuras, repite el Grupo Olini y lo coloca sobre el Grupo Villeta y las Lodolitas de Fusagasugá (INGEOMINAS, 2002c).

El sistema de fallas de Quininí cubre un área muy extensa de la cuenca, debido a que se encuentra marcando el límite de las cuencas sedimentarias. En la cuenca del río Sumapaz se localiza en un total de 3 planchas a escala 1: 25.000. La plancha más al sur corresponde a la 265-I-A, en esta plancha se observa este sistema en la vereda El Páramo, perteneciente al Municipio de Icononzo, así mismo para las veredas El Águila, La Arabia, Cualamana, Calcuta y la Reforma, del municipio de Melgar. En la plancha 246-III-C este sistema de fallas se ubica en los municipios de Fusagasugá, en la vereda Boquerón y el municipio de Nilo, dentro de las veredas: La Primavera, Tokio, San Bartolo y Aguadiocito. Al norte del trayecto de estas fallas se localiza la plancha 246-III-A, en esta se localizan dentro de las veredas de Balunda y Albania

pertenecientes al municipio de Nilo, de igual forma sobre las veredas de El Mango y Bateas, correspondientes al municipio de Fusagasugá, podemos ubicar estas fallas.

El sistema de fallas de Quininí en el sector oriental de la cuenca se encuentra plegando y cabalgando las formaciones del grupo Guadalupe sobre estas mismas, permitiendo que se repita la secuencia a nivel local, mientras que en el sector occidental generó un sinclinal en la secuencia correspondiente a las formaciones del grupo Olini. Hacia el oeste su influencia perdura permitiendo el contacto fallado entre la formación La Tabla y la formación Lidita inferior, y así mismo en el contacto entre la formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con la formación La Tabla.

3.1.7.1.5. Sistema de Fallas el Páramo

Esta falla toma su nombre de la cuchilla El Páramo y también es denominada falla de Boquerón por Franco & Gómez (1978). Se trata de una falla de cabalgamiento con vergencia NW, con dirección del plano de falla N35°E y buzamiento de 20° al SE. Esta falla cabalga rocas del Grupo Olini (al norte) y del Grupo Villeta (al sur) sobre rocas del Grupo Olini. Morfológicamente se observa muy bien el trazo de falla porque origina una cuchilla sobre el bloque colgante (INGEOMINAS, 2002b).

El sistema de fallas, se localiza en el sector suroccidental de la cuenca, su trazo inicia en la plancha 264-IV-A, en el municipio de Carmen de Apicalá, sobre la vereda Capote. Continúa su recorrido sobre la plancha 264-III-D en el municipio de Carmen de Apicalá dentro de las veredas: Novillos, Peñón Blanco, Frontera, Agua Blanca y La Florida. Asimismo, en el municipio de Melgar por las veredas Inalí, Veraguas, El Floral y Buenavista. Finalmente, en la plancha 264-III-B se localiza su trayecto en la vereda Buenavista del municipio de Melgar, Tolima.

3.1.7.1.6. Sistema de Fallas de Venecia

Este sistema debe su nombre a la población de Venecia. Es un grupo de fallas de cabalgamiento, con dirección aproximada norte – sur, vergencia hacia el occidente, que generan escamas tectónicas las cuales involucran la Formación Chipaque, Grupo Guadalupe, Formación Guaduas y Lodolitas de Fusagasugá. El Servicio Geológico Colombiano le otorgo nombre a cada una de las fallas que componen este sistema, estas fallas son conocidas como: Porvenir, Cabrera, Venecia y Mesón.

Este sistema comienza su trazo sobre el municipio de Cabrera en la plancha 265-III-A, en las veredas Alto Ariari y Santa Lucía. Dentro de la plancha 265-I-C, se ubica en el municipio de Venecia, específicamente en las veredas: Quebrada Grande Alta, Quebrada Grande Baja, San Cristóbal y Aguadulce. Finalmente, en la plancha 265-I-D sobre las veredas: Aguadulce, Sagrado Corazón, Diamante y Chorreras, pertenecientes al municipio de Venecia.

La falla el Porvenir debe su nombre a la cuchilla El Porvenir, es una falla de cabalgamiento, con vergencia hacia el oriente que superpone rocas del Grupo Villeta (Formación Chipaque) sobre rocas del Grupo Guadalupe. Esta falla se interpreta como retrocabalgamiento del sistema Venecia (INGEOMINAS, 2002b).

3.1.7.2. Pliegues

La cuenca presenta una serie de pliegues, producto del ambiente compresional y la litología predominante de rocas sedimentarias, estas estructuras poseen sus ejes orientados con vergencia hacia el NE principalmente. Los pliegues se pueden encontrar en grandes extensiones de la cuenca como el sinclinal de San Juan en el sector oriental, y en sectores con menores dimensiones, por ejemplo, el sinclinal de Balconcitos en el municipio de Icononzo.

3.1.7.2.1. Anticlinal de Cumaca

El anticlinal de Cumaca se localiza el límite norte de la cuenca, cuenta con una secuencia de rocas sedimentarias partiendo desde la Formación Chipaque, pasando por rocas del Grupo Guadalupe para finalmente cerrar con la Formación Guaduas en el Alto de Quininí, enfrentado con el sector de Chinauta. En su terminación periclinal queda sepultado por el plano aluvial de Fusagasugá en el sector de Chinauta. La estructura fue identificada tanto por fotografías aéreas como por la visita a campo.

Se encuentra representado en la plancha 246-III-B, esta estructura está dentro del municipio de Fusagasugá, exactamente en las veredas Calandaima, La Escuela, Albania, La Vuelta, Capotes y San Luis y Chisque. De igual manera dentro del municipio de Fusagasugá, no obstante, en la plancha 246-III-D; sobre las veredas San Luis y Chisque, Capotes y La Puerta.

3.1.7.2.2. Anticlinal de Mundo Nuevo

Se le otorgó el nombre de anticlinal de Mundo Nuevo a un pliegue reconocido a partir de la fotointerpretación, y su eje central se encuentra en el río Sumapaz por el sector de la vereda Mundo Nuevo del municipio de Icononzo. El anticlinal se encuentra limitado en la zona oriental por el sistema de fallas de Venecia, mientras que al occidente lo limita el Sinclinal de Balconcitos.

El anticlinal puede localizarse en la plancha 265-III-A, en el municipio de Cabrera en la vereda Alto Ariari, en Venecia dentro de la vereda Aposentos y en el municipio de Icononzo en las veredas Nuevo Mundo y La Esperanza. Igualmente, en la plancha 265-I-C en el municipio de Icononzo, dentro de la vereda La Esperanza y en el municipio de Venecia por la vereda Quebrada Grande Baja.

3.1.7.2.3. Anticlinal de Pueblo Viejo

Esta estructura debe su nombre a la Loma Pueblo Viejo. Es un pliegue cerrado, sin inmersión, con dirección del plano axial N30°E e inclinación de aproximadamente 35° con vergencia hacia el occidente. Su núcleo está caracterizado por la Formación Chipaque y con los flancos por el Grupo Guadalupe (INGEOMINAS, 2002c).

El anticlinal de Pueblo Viejo presenta una gran extensión cubriendo los municipios de Cabrera, Venecia, Arbeláez, San Bernardo y el Distrito de Bogotá, debido a la erosión en hacía el sur y en el norte de la estructura se logra apreciar su núcleo, el cual es la

formación Chipaque, mientras que en el centro del pliegue observado desde vista en planta se observan las formaciones del grupo Guadalupe.

El pliegue se encuentra sobre la vereda Las Águilas, del municipio de Cabrera, dentro de las planchas 284-I-B al sur y 265-III-D al norte.

3.1.7.2.4. Sinclinal de Balconcitos

El sinclinal de Balconcitos se encuentra ubicado al sur de la cabecera municipal del municipio de Icononzo y debe su nombre a la vereda en donde se ubica su eje central. En la vía Icononzo – Villarica se observa el Sinclinal de Balconcitos en donde se expone que su relieve se encuentra invertido debido a la erosión. Igualmente se nota el contacto entre la unidad Lodolitas de Fusagasugá con la Formación Guaduas.

El sinclinal se encuentra ubicado dentro de dos planchas 1:25.000. En la plancha 265-I-C, dentro del municipio de Icononzo, por las veredas Paramitos, Guamitos y La Laja y en la plancha 265-I-A nuevamente en el municipio de Icononzo, en las veredas Dos Quebradas y Portachuelo.

3.1.7.2.5. Sinclinal de Cabrera

Esta estructura debe su nombre al municipio de Cabrera y es un pliegue abierto, subvertical a vertical, subparalelo al sinclinal de San Juan, con eje axial de dirección N30°E. Este pliegue está conformado en su núcleo por las Lodolitas de Fusagasugá y sus flancos, aunque están afectados por fallas lo conforman rocas de la Formación Guaduas y del Grupo Guadalupe. Al norte el eje se encuentra truncado por varias fallas de rumbo de dirección N10°W. (INGEOMINAS, 2002c).

El eje del sinclinal se localiza en tres (3) planchas a escala 1:25.000. La primera en el sur sobre la plancha 265-III-D en el municipio de Cabrera, dentro de la vereda Santa Marta. En el sur de la plancha 265-III-B, se ubica el eje en el municipio de Cabrera, sobre la vereda Santa Rita, mientras que en el norte de la misma el eje de la estructura se encuentra en el municipio de Venecia, en las veredas Santa Bárbara y Las Mercedes. En la plancha más norte de las tres, 265-I-D, el eje está en el municipio de Venecia, dentro de las veredas Santa Bárbara y Las Mercedes; como a su vez en el municipio de San Bernardo por la vereda Pirineos.

3.1.7.2.6. Sinclinal de Carmen de Apicalá

Esta estructura debe su nombre al municipio de Carmen de Apicalá y ha sido referenciado por De Porta (1974) y Mojica & Franco (1992) entre otros. Se trata de un sinclinal de gran extensión geográfica (más de 350 km²) y corresponde a una estructura suave, subvertical con poca inmersión. La dirección del plano axial se compone de dos trazos que de sur a norte son N10°E y N35°E. El plano axial buza al SE y la inmersión es tanto al norte como al sur y genera una cubeta estructural. El núcleo del sinclinal está conformado por rocas del Grupo Honda; el flanco occidental por la Lidita Inferior y el oriental está cortado por fallas de cabalgamiento, lo cual deja remanentes de un anticlinal en rocas cretácicas. (INGEOMINAS, 2002b).

El sinclinal de Carmen de Apicalá aflora desde la plancha 264-II-C, ubicada en el municipio de Carmen de Apicalá, sobre las veredas: Los Camarones, Capotes y Mortino. En la plancha 264-III-A, nuevamente en este mismo municipio, en la vereda llamada Antigua. El sector norte del pliegue, se encuentra dentro de la plancha 264-III-B, exactamente en las veredas Charcón y Chimbí, jurisdicción del municipio de Carmen de Apicalá.

3.1.7.2.7. Sinclinal de San Juan

Su nombre proviene del municipio de San Juan y está ubicado en la parte oriental de la cuenca. Es un pliegue abierto, subvertical cuyo eje esta desplazado hacia el flanco occidental, mostrando diferencias en espesor entre ambos flancos, hacia el norte tiene una dirección aproximada de N30°E y hacia el sur de N15°E. Este pliegue está conformado por rocas del Grupo Guadalupe y la Formación Guaduas en sus flancos y en su núcleo por las Lodolitas de Fusagasugá (INGEOMINAS, 2002c).

El eje principal del pliegue posee una gran extensión, en el sur se ubica en la plancha 284-I-B, sobre la vereda Las Águilas, del municipio de San Juan. Siguiendo el trazo de la estructura, dentro de la plancha 265-III-D, este se ubica en las veredas Nueva Granada, Canadá y Concepción, pertenecientes al municipio de San Juan. En la plancha 265-IV-A, su trayecto corta las siguientes veredas: Tunal, Lagunitas, Chorreras, Santo Domingo, San Juan y el Toldo. Más al norte en la plancha 265-II-C esta estructura pasa por el municipio de San Juan, en las veredas El Toldo y San Antonio; y en la Vereda Taquecitos del municipio de Pasca.

El núcleo del Sinclinal de San Juan está conformado por rocas de la Formación Lodolitas de Fusagasugá, las cuales se encuentran cubiertas en su mayoría por depósitos cuaternarios por efectos de la erosión glaciár, (Anexo 3.1-1. Memoria técnica caracterización geológica POMCA del río Sumapaz V5).

3.1.8. GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA (UGS)

Las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) corresponden a un conjunto homogéneo de materiales geológicos que afloran en la superficie, que provienen del mismo origen, y conservan en general las mismas características físicas y de comportamiento geomecánico, hasta algunos metros por debajo de la superficie del terreno (Hermelín, 1985). Para Salazar (1995), las UGS, se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos, que modelan la superficie terrestre y por lo tanto son unidades cartografiables.

3.1.8.1. Metodología

El levantamiento de información y la construcción del mapa unides geológicas superficiales (UGS) a escala 1:25.000 para el área de jurisdicción de la cuenca del río Sumapaz se desarrollo en el marco del Contrato 1870 de 2017, entre la Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca CAR y la empresa GEOCING S.A.S, siguiendo el proceder metodológico que se describe a continuación.

3.1.8.1.1. Fase de pre-campo

Esta fase consistió en la recopilación y análisis de información proveniente del Servicio Geológico Colombiano, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Universidad Nacional de Colombia (UN) y catálogos virtuales en línea, así como de la fotointerpretación realizada con la finalidad de obtener las salidas cartográficas pertinentes para la realización del control de campo.

En la Figura 25 se presenta la metodología aplicada para dicha revisión.

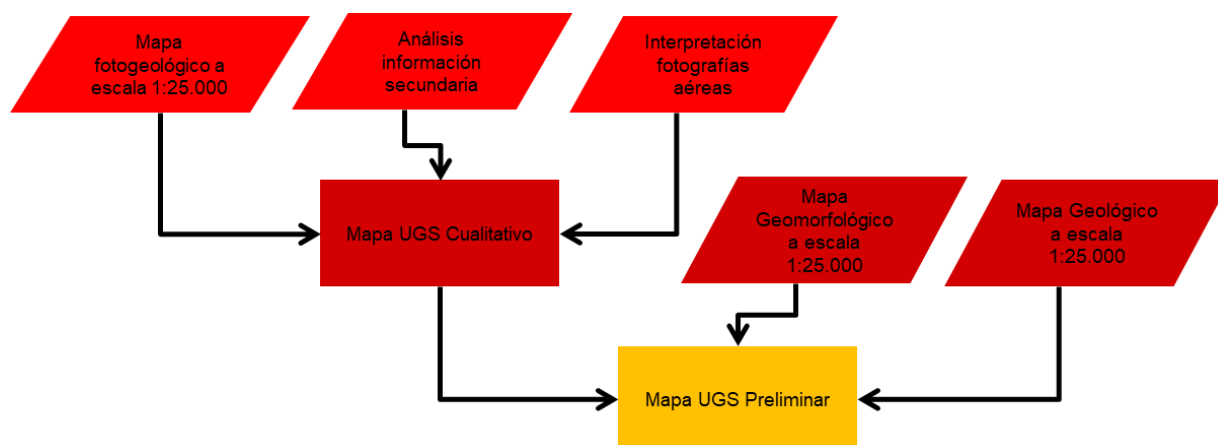


Figura 25. Diagrama de flujo metodología fase pre-campo
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

Igualmente, se adelantó la recopilación de insumos como la base cartográfica a escala 1:25.000, el modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) con resolución espacial de 12,5 metros e imágenes de sensores remotos. Realizándose un análisis de la cartografía geológica y geomorfológica disponible, tanto a escala 1:25.000 como a escala 1:100.000, que cubren la zona de estudio, con el fin de conocer las diferentes configuraciones litológicas y estructurales, presentes en la cuenca del río Sumapaz.

A partir de la información secundaria recopilada en el paso anterior, y teniendo en cuenta el mapa de fotogeología básica, se realizó la fotointerpretación de las Unidades Geológicas Superficiales, en la que se interpretaron las principales morfologías desarrolladas en las diferentes unidades geológicas, con el apoyo de imágenes satelitales, imágenes de radar ALOS y de análisis fotogeológico, el cual consistió en un análisis cualitativo del comportamiento del terreno con relación al mapa final de geología básica. De esta interpretación se generó una salida cartográfica de fotogeología para UGS, llamado en la metodología de POMCA como Mapa cualitativo de UGS (Ver Figura 26).

Este mapa fue usado en la campaña de campo, para tener un control de los puntos a visitar, teniendo en cuenta las unidades identificadas por fotointerpretación y la importancia de que estas estén caracterizadas dentro de la campaña de campo para ajustar la información interpretada de ser necesario. Posteriormente al tener los mapas de geología y geomorfología del Pomca del río Sumapaz se procede a obtener el mapa preliminar de UGS, el cual, junto al mapa de fotointerpretación, la campaña de campo y de exploración, es utilizado para sacar el mapa final de UGS.

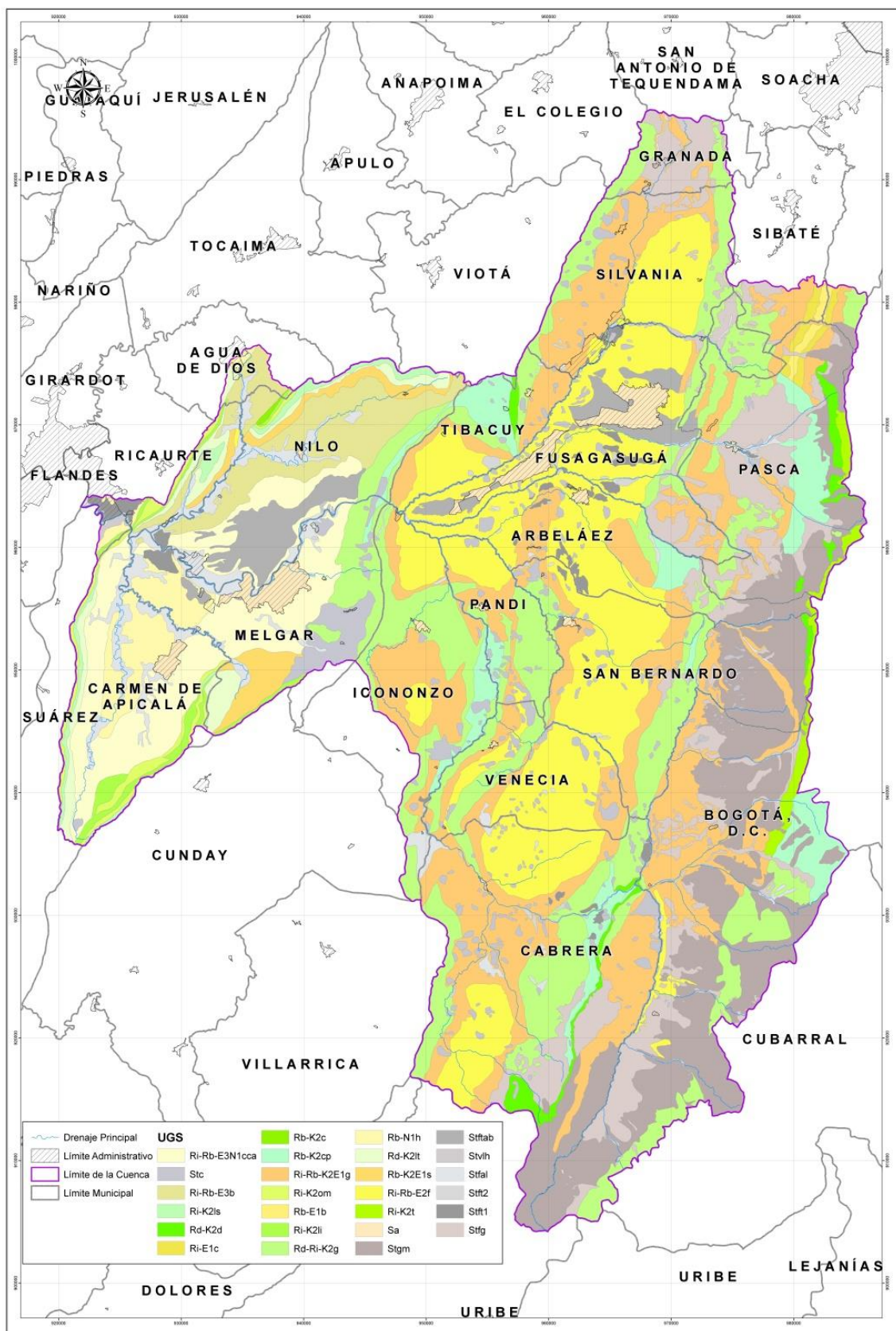


Figura 26. Mapa cualitativo o de fotointerpretación para UGS
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.8.1.2. Fase de campo

Esta fase fue desarrollada en dos etapas, con el fin de obtener el mapa de Unidades Geológicas Superficiales (UGS) a escala 1:25.000, en la Figura 27 se aprecia de manera resumida la metodología empleada en esta etapa.

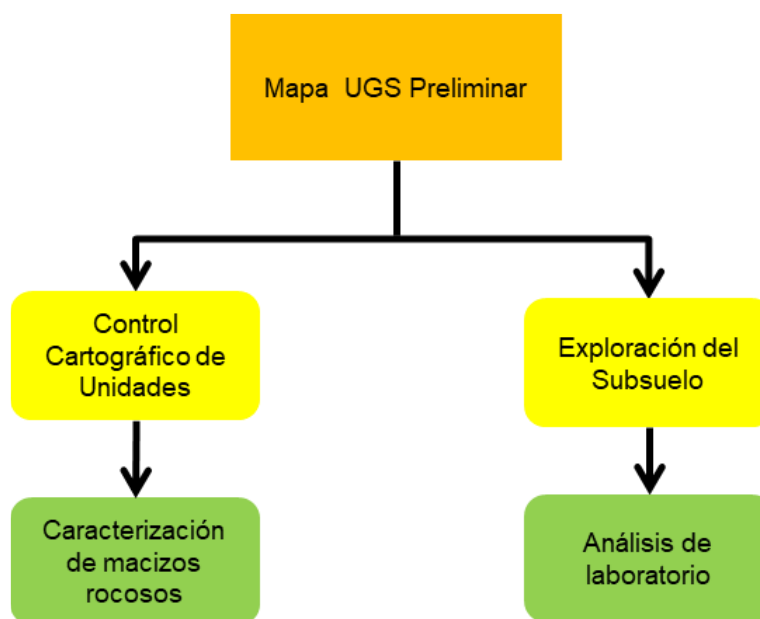


Figura 27. Diagrama de flujo de la metodología empleada en la fase de campo
Fuente: adaptado de Minambiente Minhacienda & Fondo de Adaptación, 2014

Para optimizar el trabajo de campo la cuenca del río Sumapaz fue dividida en cuatro (4) zonas, se desarrollaron estaciones de control principalmente a lo largo de vías principales y secundarias, que permitieran registrar las observaciones requeridas en el trabajo de campo, como se muestra en la Figura 28. Para la definición de estas 4 zonas, se tuvo en cuenta factores como: vías presentes, relieve presente, distancias a centros urbanos, zonas de interés planteados en la fase de fotointerpretación, y complejidad litológica y estructural.

Las estaciones fueron planeadas previamente enfocándose en el reconocimiento de zonas que presentaron dudas e inconvenientes en la generación del mapa de fotointerpretación o cualitativo, como lo fueron aquellos sitios con pendientes escarpadas con la esperanza de encontrar macizos rocosos, zonas de bajo relieve con el probable desarrollo de suelos residuales y presencia de suelos transportados de origen coluvial (zonas de depositación) y los suelos transportados fluviales. No obstante, algunos sitios no pudieron ser visitados debido a diversas condiciones no previstas como: difícil acceso por ausencia de infraestructura vial o vías deterioradas que impidieron la movilidad, como por ejemplo la zona correspondiente a paramo de Sumapaz, dentro de los municipios de Pasca y San Bernardo, el Distrito Capital de Bogotá, zonas con alteración del orden público por presencia de campos minados en la zona rural del municipio de Cabrera, áreas restringidas y protegidas del Parque

Nacional Natural de Sumapaz, situaciones como condiciones climáticas adversas (lluvias torrenciales) y/o zonas de propiedades privadas (canteras y finca raíz privada).

En las estaciones de control, se realizaron las observaciones que fueron plasmadas en los formatos definidos por el POMCA llevando a cabo la siguiente metodología: se le dio un código que incluye las iniciales del nombre del geólogo que realiza la descripción y un número consecutivo, y se registraron las coordenadas planas referidas al sistema Magna Sirgas, Datum Bogotá, con ayuda de GPS, seguido se realizó la descripción general del afloramiento, anotando sus características en la libreta, luego con el martillo geológico se extrajeron muestras de roca y/o suelo, con el fin de analizarlas y clasificarlas macroscópicamente con ayuda de la lupa y ácido, según su composición, textura, dureza y disposición en el terreno, así como una estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo.

Seguidamente en las estaciones con macizos rocosos, se realizaron toma de datos estructurarles mediante la implementación de la brújula, como la dirección e inclinación del buzamiento y la dirección del rumbo e inclinación de las familias de diaclasas. Con la ayuda del esclerómetro (Martillo de Schmidt) se tomaron datos de resistencia a la comprensión por parte de los materiales rocosos, los cuales fueron anotados en los formatos junto con su dirección de “golpe”

Posterior se determinó el grado de meteorización según la tabla de clasificación de Dearman (1991), siendo I, II, III y IV las clasificaciones para los materiales rocosos, mientras que para los suelos residuales y transportados se les otorgaron V y VI. Así mismo se determinó el índice de resistencia geológica, partiendo de la tabla de clasificación de Hoek (1998). Además, se definió la rugosidad que presentan las familias de diaclasas en los casos que aplicó, la humedad que presentaba el afloramiento, si este poseía flujo de escorrentías o se encontraba seco.

En total se realizaron 190 estaciones en campo siendo las zonas 1 y 2 las de mayor densidad de puntos con un total de 58 y 60 estaciones respectivamente (Figura 28). En las zonas 3 y 4 se presentaron mayor cantidad de inconvenientes como los anteriormente mencionados al inicio del capítulo, impidiendo el acceso a zonas de puntos que se tenían previstos visitar.

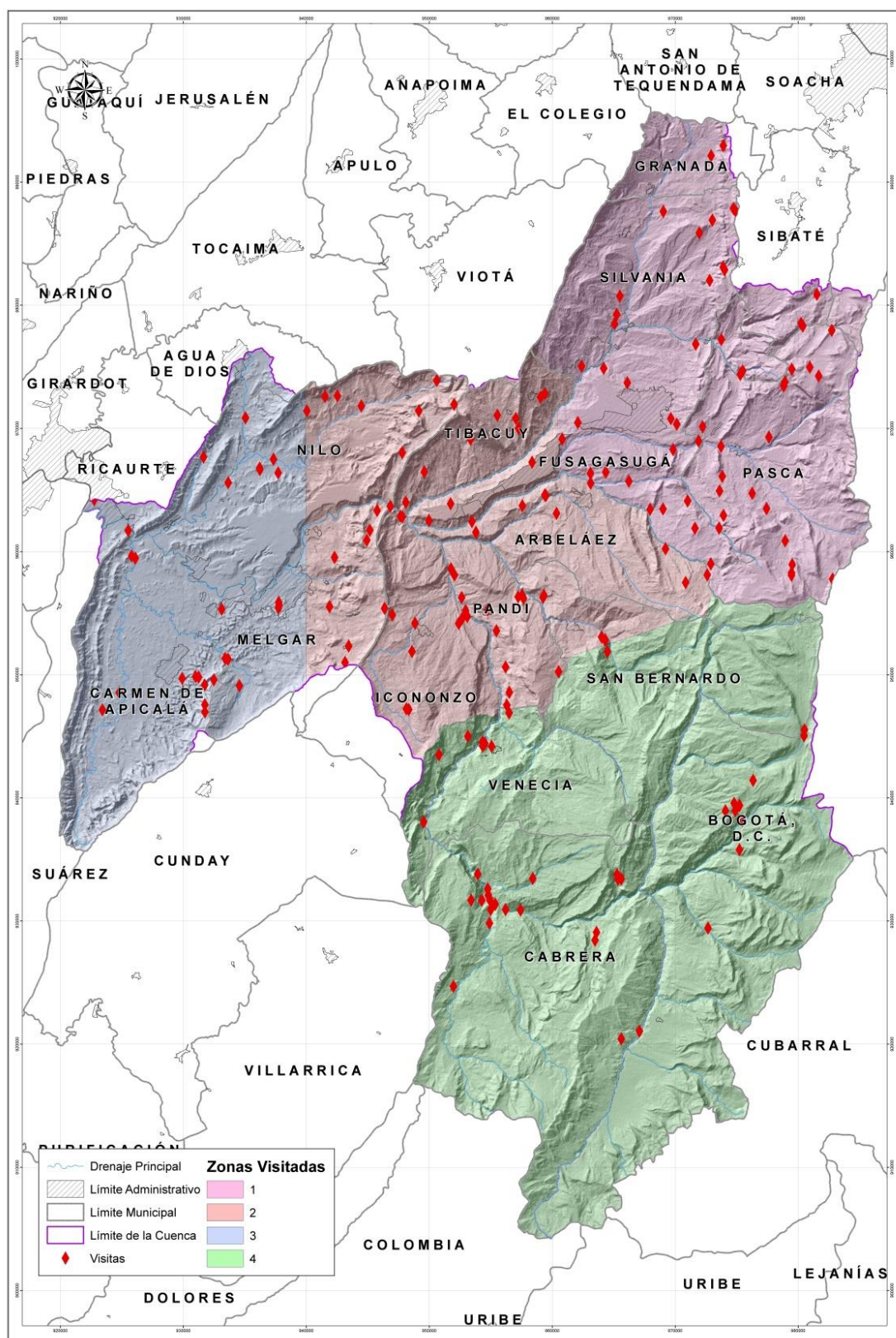


Figura 28. Zonas de trabajo cuenca río Sumapaz, y localización de estaciones de campo
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

Con base al mapa preliminar, se programó la fase de exploración del subsuelo con el objetivo de reconocer las propiedades geotécnicas de los materiales involucrados en la zona de estudio (Figura 29), estas exploraciones se realizaron mediante trincheras en zonas de taludes y escarpes, asimismo se realizaron sondeos con recuperación de núcleos en sitios que no permiten la caracterización de la unidad mediante la visita de campo de los geólogos, debido a que son lugares de suelos residuales o relieves de pendientes suavizadas, sin la presencia de afloramiento rocoso, depósitos transportados de gran profundidad y extensión que requieran ser estudiados a detalle.

No obstante, se encontró con algunos problemas de accesibilidad para los instrumentos de perforación, como en los sitios del páramo de Sumapaz, sobre los municipios de Pasca, San Bernardo y la localidad de Sumapaz, puesto que pertenecen al Parque Nacional Natural de Sumapaz, lugar donde se prohíbe la intervención antrópica de este tipo, o el sector de Tolemaida que al ser una zona militar el acceso es limitado, de igual forma en zonas de pendientes mayores a 45° no fue posible el lograr la extracción de muestras. Acorde con lo mencionado en la Figura 29 se presenta la distribución de las perforaciones ejecutadas en la cuenca del río Sumapaz.

Por otra parte el material recuperado de la exploración fue analizado en el laboratorio, mediante una serie de pruebas y ensayos, tales como determinación del tamaño de los agregados de la muestra, obteniendo granulometría a partir de un tamizado y pruebas para la obtención de las propiedades índices, tales como el Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP), Índice de Plasticidad (IP) y Porcentaje de humedad (W_n). Ensayos de corte directo y compresión confinada.

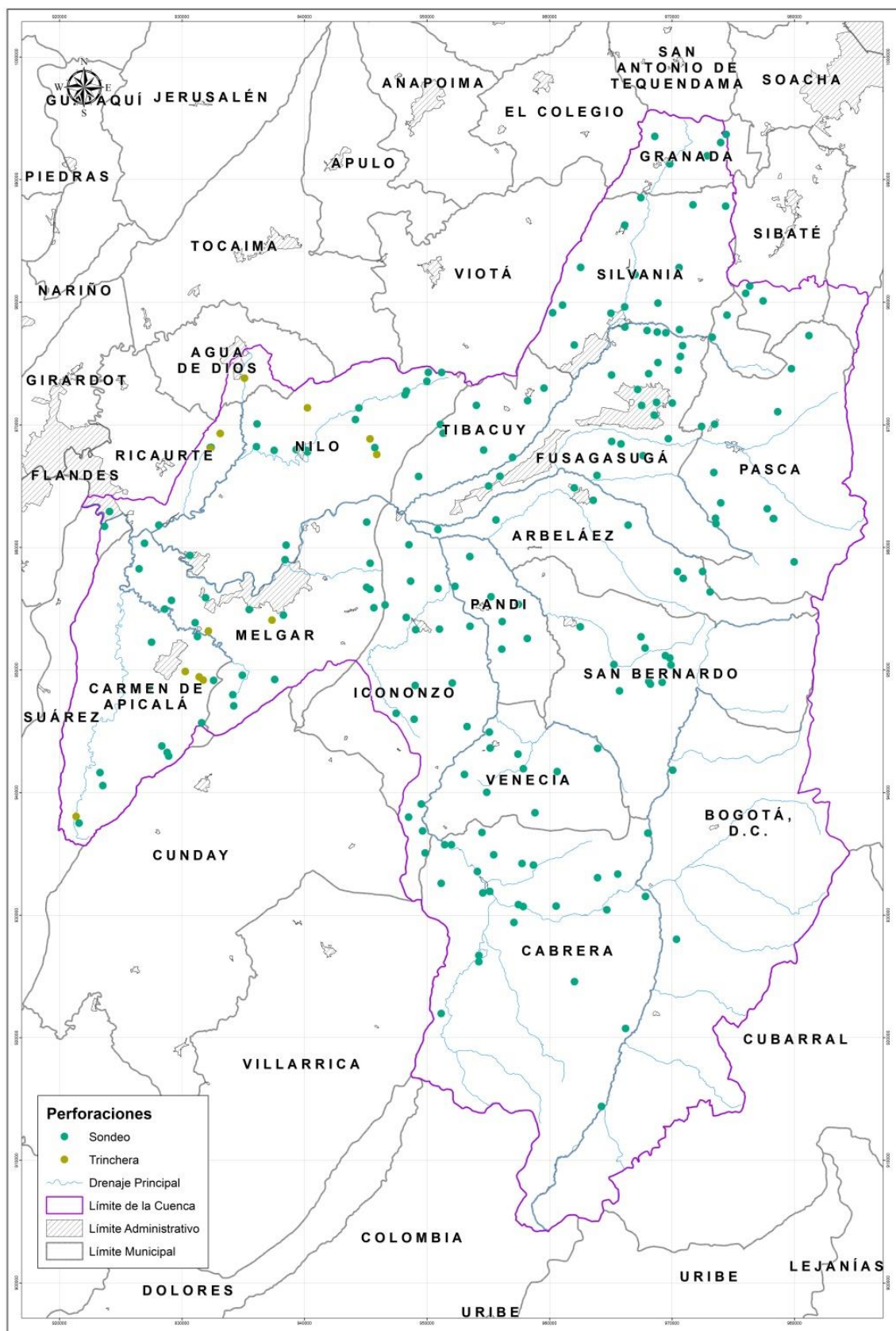


Figura 29. Exploración del subsuelo en la cuenca del río Sumapaz
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.8.1.3. Fase post-campo

Finalmente, en esta fase se procesó e íntegro la información obtenida en las etapas anteriores. Se compilaron los datos de las cuatro zonas visitadas, datos estructurarles, datos de compresión simple de material rocoso, información de los afloramientos, rasgos geomecánicos de las unidades, disposición general de las unidades en los puntos visitados.

En igual condición se procesó la información proveniente de los resultados de la exploración, permitiendo caracterizar con un mayor detalle cada unidad geológica superficial (UGS), a través del conocimiento de sus propiedades índices y geomecánicas.

3.1.9.UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)

Para el desarrollo y aplicación de la temática de las UGS, se tomó como base al procedimiento expuesto en la Guía Metodológica para la Zonificación de amenaza Por Movimientos en Masa, escala 1:25.000 ((SGC 2017)), ampliada con la metodología expuesta en IAEG (1981) Donde los materiales superficiales se clasifican en suelos y rocas (Tabla 4).

Tabla 4. Unidades geológicas superficiales según su origen. Fuente: (SGC 2017)

TIPO DE MATERIAL	ORIGEN DE LA UGS	TIPO DE UGS
Roca	Roca inalterada	• Roca dura (Calidad de macizo buena y muy buena) • Roca intermedia (Calidad de macizo regular) • Roca blanda (Calidad de macizo mala y muy mala)
	Derivadas de roca In situ	• Suelo residual: Horizontes IV (saprolito grueso), V (saprolito fino) y VI.
	Depósitos volcánico-lásticos primarios	• Flujos piroclásticos (Ignimbrita), oleada piroclástica, caídas piroclásticas (bombas, bloques y ceniza).
	Depósitos volcánico-lásticos secundarios	• Lahar, avalancha de escombros
Suelo	Depósitos aluviales	• Aluviones recientes y de cauce activo • Llanura aluvial • Abanicos o conos aluviales • Terrazas aluviales • Depósitos fluvio-torrenciales
	Depósitos lacustres y paludales	• Suelos fluvio-lacustre • Suelos paludales
	Depósitos costeros	• Deltas, Barras, Playas, etc.
	Depósitos eólicos	• Dunas y Médanos • Loess
	Depósitos glaciares	• Morrenas y Tillitas • Suelos Fluvio-glaciares
	Depósitos de gravedad y ladera	• Coluvial • Talus, derrubios de pendiente • Flujos (de lodo, tierra y de escombros)
	Depósitos antrópicos	• Llenos de basuras • Llenos de Escombros • Llenos mixtos

Los materiales clasificados como rocas, se clasifican según su origen, litología, color, y composición mineralógica, perfil de meteorización o alteración (Dearman), dureza o resistencia e índice de resistencia geológica (GSI). Si se considera como un macizo rocoso, es un material con discontinuidades que lo dividen en bloques individuales, estas discontinuidades controlan en gran medida la resistencia del macizo rocoso a las fuerzas que actúan sobre este, y no como la resistencia de los granos, cristales o material cementante que mantiene los bloques juntos.

Para la clasificación de las unidades de rocas en la cuenca del río Sumapaz se tomó la decisión de relacionar tres (3) categorías, de acuerdo con el valor de la clasificación GSI, en la Tabla 5 se exhiben los valores estandarizados para la clasificación de estas unidades.

Los materiales clasificados como suelos, se diferencian de acuerdo con su origen, composición mineralógica, clasificación genética, características y propiedades del suelo, estructura o empaquetamiento, selección, gradación, color, tamaño, forma y composición de las partículas, grado de meteorización, consistencia, resistencia, condición de humedad, densidad relativa, compacidad, propiedades de la masa del suelo, estructuras relictas o discontinuidades en la masa del suelo y propiedades ingenieriles.

Tabla 5. Relacion de unidades de roca con valores del GSI. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

GSI	UNIDAD DE ROCA
55 – 80	Dura
35 – 55	Intermedia
10 – 35	Blanda

El suelo es un depósito suelto o blando de origen natural formado en la superficie de la Tierra, el cual se debilita o ablanda por inmersión en agua; puede ser el resultado de procesos físicos, químicos y biológicos, que actúan para producir un material rico en materia orgánica, con horizontes característicos (capas) a poca profundidad. El suelo se puede formar a partir de la erosión o meteorización de rocas más duras, o de suelos más antiguos in situ, o puede ser material transportado o depositado como una formación geológica blanda. Cualquiera que sea su origen, se puede definir como un material particulado, cuyas propiedades están controladas por el tamaño de las partículas que los conforman, forma, gradación, contactos, enlaces químicos entre partículas y agregados. Otros factores que controlan las propiedades de los suelos son los espacios vacíos y el fluido en los poros.

3.1.9.1. PERFIL DE METEORIZACIÓN

El grado de meteorización es uno de los aspectos importantes en la caracterización de las Unidades Geológicas Superficiales, se define como la descomposición física y química In situ de los materiales cercanos a la superficie de la tierra. Influye en la formación de los suelos residuales, estabilidad de las laderas y en la acción de los procesos erosivos, al igual que sobre las propiedades físico–mecánicas de las rocas, tales como densidad, esfuerzo a la compresión, porosidad, permeabilidad, deformabilidad y consistencia. Es así como en la Tabla 6, se muestra el perfil generalizado que fue utilizado para definir el grado de meteorización de las rocas se de (Dearman W. , 1947, 1991).

Tabla 6. Perfil de meteorización utilizado para agrupar los maeriales geológicos en el mapa de unidades geológicas superficiales. Fuente: Dearman (1974, 1991)

Unidad usada en el mapa	Grado de meteorización	Nombre	Descripción
Suelo in situ	VI	Suelo Residual	Horizonte A.
			Horizonte B.
			Horizonte C: Saprolito. Presencia de fragmentos y bloques de roca menor al 10 % (Textura original no visible).
	V	Roca completamente meteorizada	Todo el macizo rocoso está completamente descompuesto. La roca se desmenuza fácilmente con la mano; se observan estructuras de la roca original. Presencia de fragmentos de roca entre 10% y 35%.
Material intermedio (Roca Blanda)	IV	Roca altamente meteorizada	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto o desintegrado. Presencia de núcleos de roca sin meteorizar entre 35% y 70%. El material aún se deja excavar con el martillo sin dificultad.
	III	Roca moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto o desintegrado. La roca se presenta altamente decolorada. Para obtener muestras se requiere martilleo moderado.
Roca Dura	II	Roca ligeramente meteorizada	Ligera decoloración del macizo rocoso indicado algo de meteorización. La roca aún es dura y resistente.
	I	Roca inalterada o fresca	Macizo rocoso sin signos visibles de meteorización, superficies briallantes en las discontinuidades

3.1.9.2. ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA (G.S.I.)

Corresponde a un parámetro evaluativo de la resistencia de la masa rocosa, que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. La determinación del G.S.I. (Hoek et al., 1998), permite calificar el macizo rocoso entre 0 y 100, dependiendo de la variación del entramamiento y la calidad de la roca en la superficie (Figura 30).

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (geological strength index) A partir de la clasificación obtenida en la Figura 3.94 seleccionar el cuadro correspondiente en este ábaco y obtener el valor medio del índice GSI.		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de ozalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de ozalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

Figura 30. Factor G.S.I para Macizos Rocosos. Fuente: González de Vallejo (2002)

Los parámetros mencionados anteriormente, están estrechamente relacionados con la dureza, esta permite conocer la resistencia que opone una roca a la acción puntual; en algunas ocasiones se define como la resistencia que la roca ofrece a ser penetrada por un objeto duro. Se mide con el martillo o un objeto punzante.

3.1.9.3. DUREZA Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

Corresponden a propiedades de los materiales que permiten su cuantificación para diversas utilizaciones. La dureza es la propiedad de una roca de oponer resistencia a la acción puntual sobre ella; en ocasiones se define como la resistencia que ella ofrece a ser penetrada por un objeto duro. Se mide con el martillo o un objeto punzante (Ver Tabla 7).

La resistencia es la propiedad que opone la roca a su destrucción; igualmente se utiliza para caracterizar las rocas según su resistencia a la destrucción durante los trabajos mineros.

Tabla 7. Terminología para describir la dureza o consistencia de las rocas. Fuente: INGEOMINAS, 2004.

TIPO	DESCRIPCIÓN
Muy dura	El golpe del martillo no la afecta. No se deja fracturar, ni rayar con el martillo, ni con la navaja de acero
Dura	El golpe del martillo la fractura muy levemente, se raya con dificultad con la navaja o con cualquier objeto metálico punzante
Moderadamente Dura	Al golpe del martillo se fractura ligeramente y se deja rayar fácilmente con la navaja o con cualquier objeto metálico punzante
Blanda	Se fractura al golpe del martillo, se deja penetrar fácilmente con la navaja
Quebradiza	Se quiebra con facilidad o se desprende al golpe del martillo deja bordes cortantes
Frágil	Puede ser quebrada por presión fuerte entre los dedos
Deleznable	Se pulveriza al golpe del martillo, se desintegra fácilmente la presión de los dedos, y puede cortarse con la navaja

3.1.9.4. VALOR DE LA PENDIENTE

Las unidades geológicas superficiales son afectadas por los diferentes valores de pendientes que pueden tener las formaciones geológicas, debido a que la geomorfología que presenta una ladera, involucra procesos morfodinámicos que originan nuevas geoformas y por tanto nuevos comportamientos geomecánicos, modificando las propiedades físicas y mecánicas de los materiales alrededor de las zonas afectadas (Carvajal *et al*, 2004). El valor de la pendiente obtiene un grado de importancia geomecánico, puesto que permite conocer los procesos morfodinámicos involucrados, como erosión y movimientos en masa según sus rangos, del mismo modo propicia identificar los sectores con acumulación tanto de suelos transportados

como residuales, en la Figura 31, se explica con mayor detalle la relación de la geoforma de la ladera y los procesos morfodinámicos.

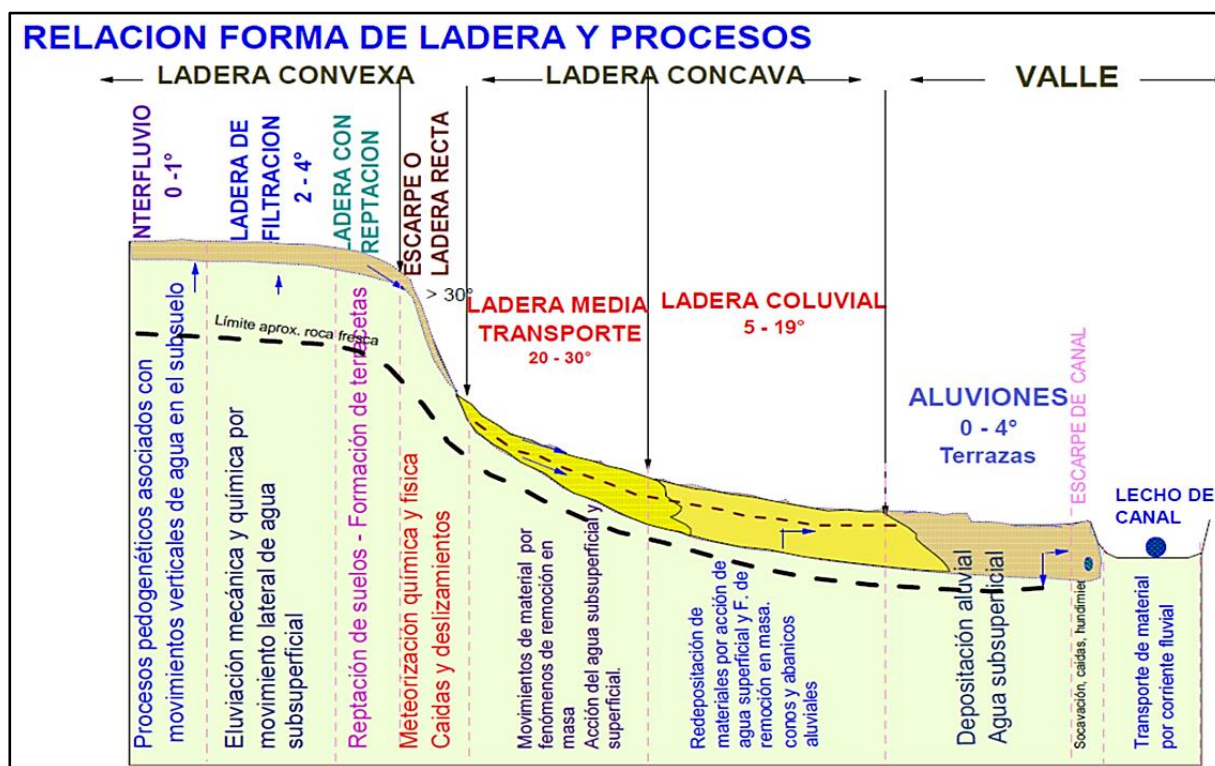


Figura 31. Perfil esquemático de una ladera y la relación entre la forma y los procesos morfodinámicos generados- Fuente: INGEOMINAS, 2004

Con base a lo expuesto anteriormente, se realizó una categorización de los valores de pendientes, con el objetivo de conocer los comportamientos geomecánicos de las unidades de rocas con relación a la inclinación de las laderas, el cual se expone en la Tabla 8.

Tabla 8. Categorización de la pendiente propuesta para la clasificación de UGS. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

Rangos de Pendientes	Categoría del valor de pendiente
5° -19°	Baja
20°-30°	Media
>30°	Alta

3.1.9.5. ANÁLISIS DE LA EXPLORACIÓN

Durante la fase exploratoria se logró recuperar muestras, las cuales se analizaron en laboratorio obteniéndose los parámetros geomecánicos necesarios para la caracterización de materiales correspondientes a la subdivisión realizada para las UGS en el mapa preliminar.

Los resultados permitieron conocer los datos de granulométricos de las unidades de rocas y suelos, del mismo modo permitió identificar los Límites Plásticos y Límites Líquidos, como a su vez el Índice de Plasticidad permitiendo clasificar la matriz de las unidades con base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos USCS por sus siglas en inglés, como se observa en la Figura 32, con la finalidad de describir la textura y el tamaño de las partículas de los suelos y rocas blandas recuperadas en la fase de exploración. (Anexo 3.1-2. Memoria técnica caracterización UGS POMCA Río Sumapaz V2).

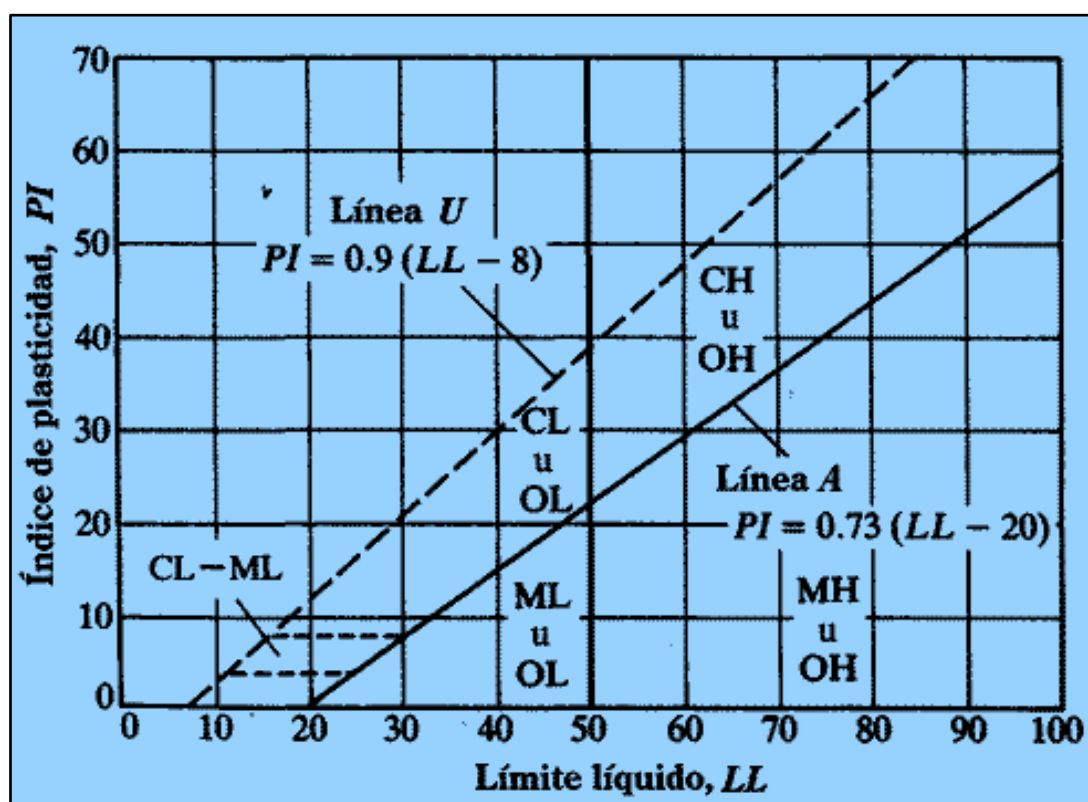


Figura 32. Gráfica de plasticidad de USCS. Fuente: Tomado de Ingeniería Blog, 2019

La exploración permitió el reconocimiento de suelos residuales de formaciones geológicas, puesto que sus perforaciones no presentaron rechazo a profundidades superiores a los 5 m. En la Figura 33 A se observa como un grupo de trabajadores se encuentran realizando el proceso de extracción del sondeo 121, el cual se localiza sobre la Formación Chipaque, en la vereda Calcuta del municipio de Melgar, en la Figura 33 B, se observa la muestra recuperada a una profundidad de 7 m, la cual expone el desarrollo de suelos residuales superiores a 5 m de espesor.



Figura 33. Sondeo 121. A. Trabajadores extrayendo muestra. B. Muestra recuperada a 7 m de profundidad.
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

3.1.9.6. NOMENCLATURA UNIDADES UGS

Con base a los parámetros caracterizados a las Unidades Geológicas Superficiales (UGS), se realiza una estandarización de las propiedades geomecánicas, el Índice Geológico de Resistencia (G.S.I), Grado de Meteorización y valor de la pendiente, otorgándoles una nomenclatura.

El sistema de nomenclatura propuesto se describe a continuación:

3.1.9.6.1. Nomenclatura para unidades de Roca

Si la unidad geológica superficial caracterizada corresponde a un macizo rocoso se le asignó una nomenclatura que permitió resumir las características principales, de la forma expuesta en la Figura 34. A continuación, se realiza la descripción de cada uno de los componentes que conforma la nomenclatura de la unidad geológica superficial (UGS).

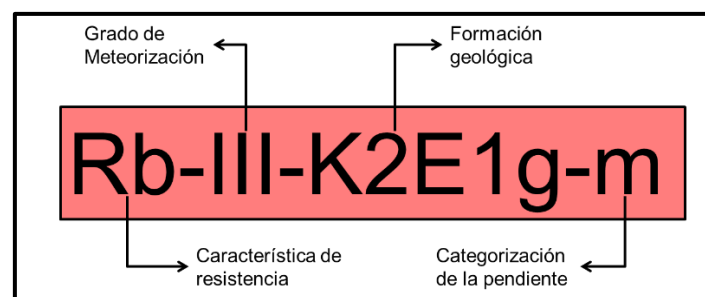


Figura 34 Ejemplo de nomenclatura para una unidad geológica superficial correspondiente a un macizo rocoso de la Formación Guaduas. Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

- La primera letra debe ser R en mayúscula, haciendo alusión a que pertenece a unidad de roca. La segunda letra en minúscula, indicando su calidad, con base a sus características de resistencia cualitativa, grado de meteorización y

diaclasamiento, entre otras, la cual será ajustada según la caracterización realizada cuantitativamente, que se denomina dura (d), intermedia (i) y blanda (b) (Ver Tabla 9).

- Lo siguiente que contiene su nomenclatura es el nivel de meteorización, por medio de un número romano (por ejemplo, III), el cual se le otorgo según la tabla de Dearman.
- Inmediatamente se le asigna la nomenclatura correspondiente a la formación geológica a la que pertenece dicha roca.
- Para finalizar se le asignó la categorización de pendiente, según el valor promedio obtenido en el polígono de la unidad de macizo rocoso (Tabla 8).

Tabla 9. Clasificación de las unidades geológicas de roca de acuerdo a su dureza y parámetros principales.

Fuente: INGEOMINAS, 2004.

ROCAS BLANDAS (Resistencia baja a intermedia)	Esta categoría comprende rocas como las anteriormente mencionadas, pero un poco más litificadas y con estratificación gruesa, en el caso de las sedimentarias o moderadamente descompuestas en el caso de las cristalinas. Comprenden en general, arcillolitas, lodolitas, shales y areniscas friables en estratificación muy delgada en general moderadamente fracturadas. En el caso de las rocas clasificadas como muy blandas y blandas, la falla de estas rocas en excavaciones no está estructuralmente controlada, es decir que la falla se propaga predominantemente a través del material rocoso.
ROCAS INTERMEDIAS (Resistencia Intermedia a alta)	Esta categoría comprende rocas sedimentarias del Cretáceo o más antiguas, bien litificadas o de alta consolidación diagenética con estratificación delgada a gruesa, o rocas cristalinas en general débil a moderadamente descompuestas y poco fracturadas. Comprende rocas como calizas, areniscas y conglomerados bien cementados, limolitas silíceas; lutitas; esquistos y otras rocas foliadas y las rocas ígneas en general. Igualmente comprenden las secuencias sedimentarias donde alternan rocas duras y blandas capas delgadas.
ROCAS DURAS (Resistencia alta a muy alta)	Comprende rocas cristalinas de consistencia muy dura y alta resistencia, o las rocas sedimentarias de la más alta consolidación o litificación; en general masivas, sanas y frescas o solo débilmente descompuestas. En el caso de las rocas clasificadas como duras, la falla de estas rocas en excavaciones está controlada predominantemente por las discontinuidades estructurales. Se trata en general de rocas con edades del precámbrico, paleozoico y del cretáceo.

3.1.9.6.2. Nomenclatura para unidades de Suelo

En las unidades correspondientes a suelos, se propone una nomenclatura como se observa en la Figura 35, permitiendo conocer las características genéticas de dicho suelo. Esta propuesta proviene de una adaptación de la nomenclatura propuesta en la Tabla 10, tomada y adaptada del Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográficas (Minambiente, 2014), y de la nomenclatura presente en la Tabla 11, tomada de la Guía Metodológica

para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa (SGC, Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, 2015)

Tabla 10. Nomenclatura para materiales superficiales (UGS).
Fuente: adaptado de Minambiente Minhacienda & Fondo de Adaptación, 2014

Tipo de Material	Unidades	Origen	Tipo de UGS	Símbolo/ Composición	Simbología Resumida
Suelo	Transportados (St)	Fluvial (Stf)	Aluviones de lechos fluviales	St/al/ar,lm	Stf1
			Llanura de inundación	Stf/lli/a,ar	Stf2
			Terraza Aluvial	Stf/tz/gr,ar	Stf3
			Abanico/cono-aluvial	Stf/ab-co/gr,ar	Stf4
			Depósitos torrenciales	Stf/dt/bl,gr,ar	Stf5
			Depósitos fluvio-torrenciales	Stf/ft/bl,gr,ar	Stf6
		Lagunar (Stl)	Depósitos lacustres	Stl/a,ar,lm	Stl1
			Depósitos paludales	Stl/ a, lm, tur	Stl2
			Depósitos fluvio-lacustres	Stfl/ar,a,gr	Stlf1
		Glaciar (Stg)	Morrenas	Stg/mr/bl,gr,ar	Stg1
			Tillitas	Stg/tll/gr,ar	Stg2
		Fluvio-Glaciar (Stfg)	Abanicos fluvioglaciares	Stfg/tz/gr,ar,a	Stfg1
			Terrazas fluvioglaciares	Stfg/tz/gr,ar,a	Stfg2
	Translocados (Str)	Coluvial (Stc)	Coluviones	Strc/ar,a,bl	Strc1
			Talus/cono de talus	Strt/bl,cl,gr	Strc2
			Derrubios de pendiente	Strc/bl,fr,gr	Strc3
			Flujos(lodos, tierra y escombros)	Strc/f/l,t,e/ar,gr,lm	Strc4
	Residuales (Sr)	De rocas sedimentarias (Srs)	S. residual de roca parental de textura clástica, cementada y granulometría gruesa areniscas y conglomerados	Srs/ar,cng	Srs1
	Depósitos antropogénicos (Sa)	Depósitos Antropogénicos	Rellenos sanitarios o de basuras	Composición heterogénea	Strab
			Rellenos de excavaciones o de escombros o botaderos		Strae

Tabla 11 Nomenclatura sugeridas para las Unidades Geológicas Ingenieriles (UGI).
Fuente: Minminas & Servicio Geológico Colombiano, 2015

Nomenclatura Sugerida	Nombre de la UGI	Nomenclatura Sugerida	Nombre de la UGI
Sa	Suelo antrópico	Stcba	Suelo transportado de ceniza y bloque altamente meteorizado
Sale	Suelo antrópico lleno de escombros	Stct	Suelo transportado de conos de talus
Sra	Suelo residual de arenisca	stta	Suelo transportado de terraza alta
Srl	Suelo residual de lutita	Sttm	Suelo transportado de terraza media
Sta	Suelo transportado aluvial	Sttb	Suelo transportado de terraza alta
Stca	Suelo transportado coluvial antiguo	Stf	Suelo transportado fluviotorrencial
Stco	Suelo transportado coluvial	Stfl	Suelo transportado de flujo de lodo
Stcbm	Suelo transportado de ceniza y bloque moderadamente meteorizado	Stfv	Suelo transportado fluviovolcánico

A continuación, se describe en detalle el significado de cada una de las letras asociadas a esta nomenclatura.

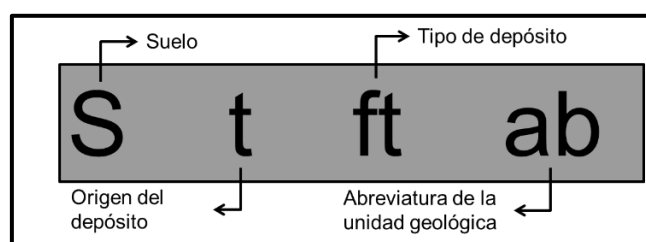


Figura 35. Ejemplo de nomenclatura de la unidad Suelo Transportado de Abanicos Fluviotorrenciales
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

- La primera letra en mayúscula, siendo la letra S.
- La siguiente letra va en minúscula y está indica el origen del depósito: transportado (t), residual (r) o antrópico (a) (Tabla 12)
- La tercera y/o cuarta letra indica el tipo del depósito: aluvial (f), aluviotorrencial (ft), coluvial (c), glaciar (g), o fluviglaciar (fg).
- La siguiente letra o letras provienen de la abreviatura de la unidad presente en el mapa de geología básica.
- Se pueden agregar al nombre otras letras o números que indiquen las características geotécnicas y/o geomorfológicas del material.

Tabla 12. Clasificación genética de las unidades de suelo. Fuente Tomado y adaptado de Minambiente Minhacienda & Fondo de Adaptación, 2014

ORIGEN - MECANISMO		NOMBRE DE LOS DEPÓSITOS	NOMBRE DE LAS GEOFORMAS
Residual		Suelo Laterítico y Suelo Saprolítico	No tienen un nombre en particular
Transportado	Aluvial	Aluviones en el lecho o fuera de él	Llanura de inundación, Barras, Terrazas, Abanicos, Deltas
	Eólico	Loess y Dunas	Barras, lomas, otras
	Glacial	Drift: Till (no estratificado)	Morrenas
		Drift: Depósitos fluvioglaciares (con alguna estratificación)	Eskers y Kames
	Volcánico	Tefra: material piroclástico en general	Mantos y coladas de piroclastos Flujos de lodo volcánico y lahares
	De Ladera	De gravedad: depósitos coluviales y flujos	Coluviones y flujos de tierras
Antrópico		Materiales diversos naturales o no	Rellenos sanitarios, presas, escombreras y rellenos de disposición

3.1.9.6.3. UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES – UGS EN LA CUENCA RÍO SUMAPAZ

En la Figura 36 y en Tabla 13 se muestran y describen las 92 Unidades Geológicas Superficiales que tienen ocurrencia en la cuenca del río Sumapaz las cuales han sido estandarizadas a partir de aproximadamente 20.000 polígonos identificados en la cuenca, esta unificación se realizó según los parámetros geomecánicos identificados durante la fase de campo y el procesamiento de la información y características geomorfológicas en la fase de oficina.

La distribución espacial se presenta en la siguiente figura. Se observa que en la cuenca existen 23 unidades de suelo de los cuales 12 son suelos transportados, (5) cinco suelos residuales y (6) seis de origen antropogénico. Igualmente 59 unidades de roca, de las cuales 23 son duras, 12 son intermedias y 24 son blandas.

Para describir cada una de estas unidades se emplea una ficha donde se incluye número de ficha, nombre de la unidad geológico superficial, el símbolo que esta lleva, el tipo de UGS, descripción con base a las observaciones de campo y los resultados de laboratorio de la exploración, áreas en hectáreas y porcentaje de ocupación en la cuenca, (Anexo 3.1-2. Memoria técnica caracterización UGS POMCA Río Sumapaz V2).

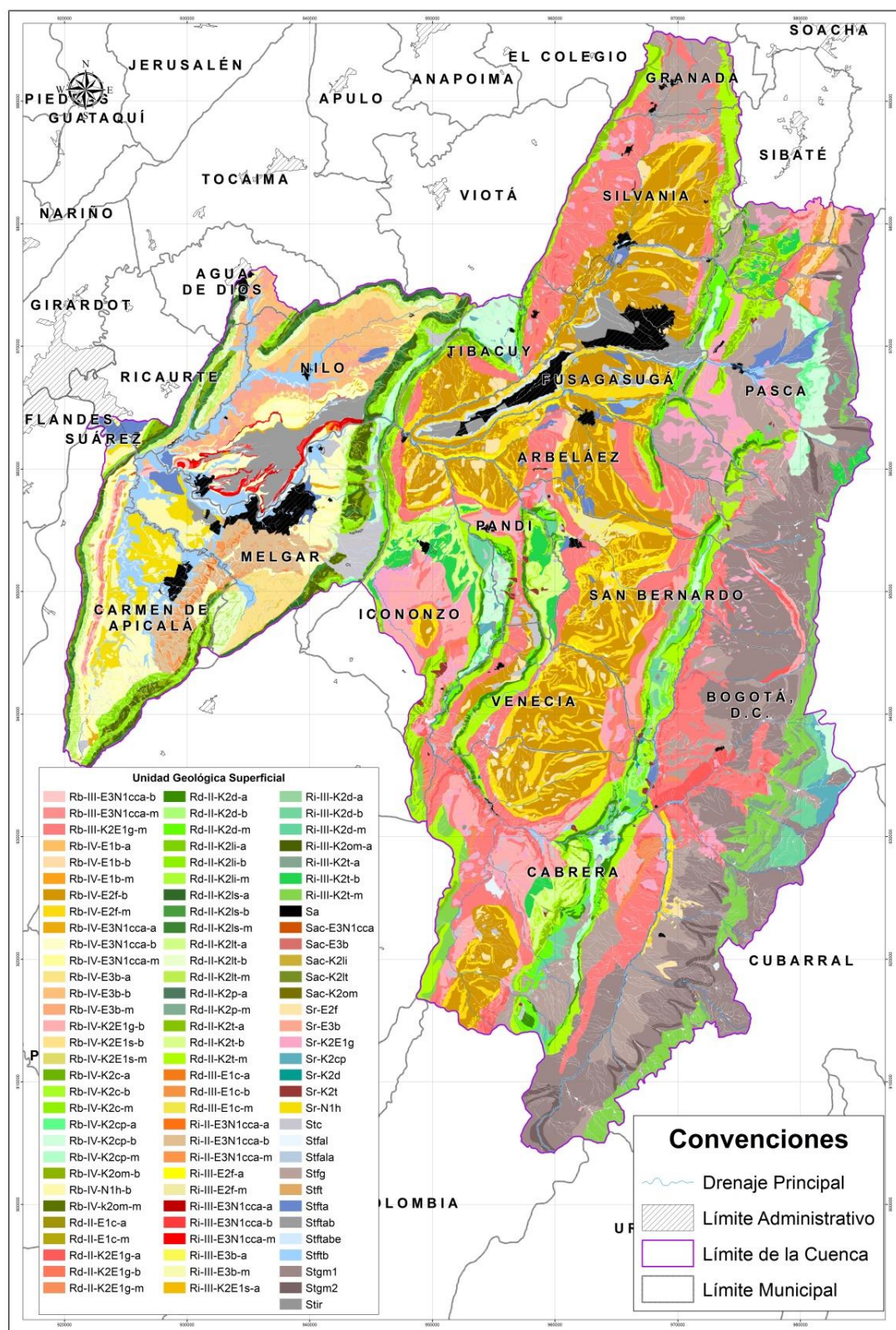


Figura 36. Mapa de unidades superficiales a escala 1.25.000
 . Fuente: GEOCING S.A.S, 2018:

Tabla 13. Unidades Geológicas Superficiales dentro de la cuenca del río Sumapaz.
Fuente: GEOCING S.A.S, 2018

	Tipo	símbolo	Nombre	Ficha
Suelos	Transportados	Stfala	Suelo Transportado Aluvial Activo	Ficha 1
		Stfal	Suelo Transportado Aluvial	Ficha 2
		Stir	Suelo Transportado de Inestabilidad Reciente	Ficha 3
		Stft	Suelo Transportado Fluviotorrencial	Ficha 4
		Stftb	Suelo Transportado Aluvial de Terraza Baja	Ficha 5
		Stfta	Suelo Transportado Aluvial de Terraza Alta	Ficha 6
		Stc	Suelo Transportado Coluvial	Ficha 7
		Stftab	Suelo Transportado de Abanico Fluviotorrencial	Ficha 8
		Stftabe	Suelo Transportado de Abanico Fluviotorrencial en Escarpe	Ficha 9
		Stfg	Suelo Transportado Fluvioglaciario	Ficha 10
		Stgm1	Suelo Transportado Morrena de Ablación	Ficha 11
		Stgm2	Suelo Transportado de Morrena Lateral	Ficha 12
	Suelos Residuales	Sr-N1h	Suelo Residual del Grupo Honda	Ficha 13
		Sr- E3b	Suelo Residual de la Formación Barzalosa	Ficha 14
		Sr- E2f	Suelo Residual de la Formación Lodolitas de Fusagasugá	Ficha 15
		Sr-K2E1g	Suelo Residual de la Formación Guaduas	Ficha 16
		Sr-K2t	Suelo Residual de la Formación Labor y Tierna	Ficha 17
		Sr-K2d	Suelo Residual de la Formación Arenisca Dura	Ficha 18
		Sr-K2cp	Suelo Residual de la Formación Chipaque	Ficha 19
	Depósitos Antropogénicos	Sa	Suelo Antrópico	Ficha 20
		Sac - E3N1cca	Suelo Antrópico Canteras de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá	Ficha 21
		Sac-E3b	Suelo Antrópico Canteras de la Formación Barzalosa	Ficha 22
		Sac-K2lt	Suelo Antrópico Canteras de la Formación La Tabla	Ficha 23
		Sac-K2om	Suelo Antrópico Canteras de la Formación Olini Medio	Ficha 24
		Sac-K2li	Suelo Antrópico Canteras de la Formación Lidita Inferior	Ficha 25

	Tipo	símbolo	Nombre	Ficha
Rocas	Dura	Rd-II-E1c-a	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Cacho con Pendiente Alta	Ficha 26
		Rd-II-E1c-m	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Cacho con Pendiente Media	
		Rd-III-E1c-a	Roca Dura con Grado de Meteorización III de la Formación Cacho con Pendiente Alta	Ficha 27
		Rd-III-E1c-m	Roca Dura con Grado de Meteorización III de la Formación Cacho con Pendiente Media	
		Rd-III-E1c-b	Roca Dura con Grado de Meteorización III de la Formación Cacho con Pendiente Baja	Ficha 28
		Rd-II-K2E1g-a	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Guaduas con Pendiente Alta	
		Rd-II-K2E1g-m	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Guaduas con Pendiente Media	Ficha 29
		Rd-II-K2lt-a	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación La Tabla con Pendiente Alta	
		Rd-II-K2lt-m	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación La Tabla con Pendiente Media	Ficha 30
		Rd-II-K2lt-b	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación La Tabla con Pendiente Baja	
		Rd-II-K2ls-a	Roca Dura con Grado de Meteorización de la II Formación Lidita Superior con Pendiente Alta	Ficha 31
		Rd-II-K2ls-m	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Lidita Superior con Pendiente Media	
		Rd-II-K2ls-b	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Lidita Superior con Pendiente Baja	Ficha 32
		Rd-II-K2li-a	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Lidita Inferior con Pendiente Alta	
		Rd-II-K2li-m	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Lidita Inferior con Pendiente Media	Ficha 33
		Rd-II-K2li-b	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Lidita Inferior con Pendiente Baja	
		Rd-II-K2t-a	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Labor y Tierna con Pendiente Alta	Ficha 34
		Rd-II-K2t-m	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Labor y Tierna con Pendiente Media	
		Rd-II-K2t-b	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Labor y Tierna con Pendiente Baja	Ficha 35
		Rd-II-K2p-a	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Pleaners con Pendiente Alta	
		Rd-II-K2p-m	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Pleaners con Pendiente Media	Ficha 36
		Rd-II-K2d-a	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Arenisca Dura con Pendiente Alta	
		Rd-II-K2d-m	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Arenisca Dura con Pendiente Media	Ficha 37
		Rd-II-K2d-b	Roca Dura con Grado de Meteorización II de la Formación Arenisca Dura con Pendiente Baja	
	Intermedia	Ri-II-E3N1cca-a	Roca Intermedia con Grado de Meteorización II de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Alta	Ficha 38
		Ri-II-E3N1cca-m	Roca Intermedia con Grado de Meteorización II de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Media	
		Ri-II-E3N1cca-b	Roca Intermedia con Grado de Meteorización II de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Baja	

	Tipo	símbolo	Nombre	Ficha
		Ri-III-E3N1cca-a	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Alta	Ficha 36
		Ri-III-E3N1cca-m	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Media	
		Ri-III-E3N1cca-b	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Baja	
		Ri-III-E3b-a	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Barzalosa con Pendiente Alta	Ficha 37
		Ri-III-E3b-m	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Barzalosa con Pendiente Media	
		Ri-III-E2f-a	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Lodolitas de Fusagasugá con Pendiente Alta	Ficha 38
		Ri-III-E2f-m	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Lodolitas de Fusagasugá con Pendiente Media	
		Ri-III-K2E1s-a	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Seca con Pendiente Alta	Ficha 39
		Ri-III-K2om-a	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Olini Medio con Pendiente Alta	Ficha 40
		Ri-III-K2t-a	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Labor y Tierna con Pendiente Alta	Ficha 41
		Ri-III-K2t-m	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Labor y Tierna con Pendiente Media	
		Ri-III-K2t-b	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Labor y Tierna con Pendiente Baja	
		Ri-III-K2d-a	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Arenisca Dura con Pendiente Alta	Ficha 42
		Ri-III-K2d-m	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Arenisca Dura con Pendiente Media	
		Ri-III-K2d-b	Roca Intermedia con Grado de Meteorización III de la Formación Arenisca Dura con Pendiente Baja	
	Blanda	Rb-IV-N1h-b	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV del Grupo Honda con pendiente baja	Ficha 43
		Rb-III-E3N1cca-m	Roca Blanda con Grado de Meteorización III de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Media	Ficha 44
		Rb-III-E3N1cca-b	Roca Blanda con Grado de Meteorización III de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Baja	
		Rb-IV-E3n1cca-a	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Alta	Ficha 45
		Rb-IV-E3n1cca-m	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Media	
		Rb-IV-E3n1cca-b	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Conglomerados del Carmen de Apicalá con Pendiente Baja	
		Rb-IV-E3b-a	Roca Blanca con Grado de Meteorización IV de la Formación Barzalosa con Pendiente Alta	Ficha 46
		Rb-IV-E3b-m	Roca Blanca con Grado de Meteorización IV de la Formación Barzalosa con Pendiente Media	
		Rb-IV-E3b-b	Roca Blanca con Grado de Meteorización IV de la Formación Barzalosa con Pendiente Baja	

	Tipo	símbolo	Nombre	Ficha
		Rb-IV-E2f-m	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Lodolitas de Fusagasugá con Pendiente Media	Ficha 47
		Rb-IV-E2f-b	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Lodolitas de Fusagasugá con Pendiente Baja	
		Rb-IV-E1b-a	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Bogotá con Pendiente Alta	Ficha 48
		Rb-IV-E1b-m	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Bogotá con Pendiente Media	
		Rb-IV-E1b-b	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Bogotá con Pendiente Baja	
		Rb-IV-K2E1s-m	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Seca con Pendiente Media	Ficha 49
		Rb-IV-K2E1s-b	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Seca con Pendiente Baja	
		Rb-III-K2E1g-m	Roca Blanda con Grado de Meteorización III de la Formación Guaduas con Pendiente Media	Ficha 50
		Rb-IV-K2E1g-b	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Guaduas con Pendiente Baja	Ficha 51
		Rb-IV-K2om-m	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Olini Medio con Pendiente Media	Ficha 52
		Rb-IV-K2om-b	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Olini Medio con Pendiente Baja	
		Rb-IV-K2cp-a	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Chipaque con Pendiente Alta	Ficha 53
		Rb-IV-K2cp-m	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Chipaque con Pendiente Media	
		Rb-IV-K2cp-b	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Chipaque con Pendiente Baja	
		Rb-IV-K2c-a	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Conejo con Pendiente Alta	Ficha 54
		Rb-IV-K2c-m	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Conejo con Pendiente Media	
		Rb-IV-K2c-b	Roca Blanda con Grado de Meteorización IV de la Formación Conejo con Pendiente Baja	

Nota: Para consultar el registro fotográfico y los datos generales de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) que corresponden a las fichas de caracterización, se recomienda ver el Anexo 3.1-2 MEMORIA TÉCNICA CARACTERIZACIÓN UGS POMCA SUMAPAZ).

3.1.10. AMENAZA VOLCANICA

El análisis de la amenaza volcánica dentro del POMCA tiene el objetivo de facilitar la información referente a los volcanes ubicados en la cuenca, apoyando la toma de decisiones relacionada a la evaluación del riesgo.

La amenaza hace referencia a un evento relacionado a una erupción volcánica que pueda generar algún daño o generar un efecto sobre la vida, bienes, economía y sociedad. Así mismo la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS, define un evento relacionado con una actividad volcánica como “Los eventos relacionados con la actividad volcánicas, se presentan cuando emerge el magma (roca fundida) en forma de lava, ceniza, volcánica y gases del interior del planeta, que puedan variar en intensidad, duración y frecuencia. Cuando los volcanes se encuentran cubiertos por glaciares, se producen descongelamiento y avalanchas” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

El Servicio Geológico Colombiano (SGC) al ser la autoridad encargada de registrar y monitorear los volcanes activos, con el objetivo de emitir los niveles de alerta por eventos volcánicos, es el responsable de proveer la información sobre la actividad volcánica. Para la evaluación de la amenaza se contempla la correspondiente información establecida

3.1.10.1. LOCALIZACIÓN DE VOLCANES EN LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del río Sumapaz se ubica en los departamentos de Cundinamarca y Tolima, influenciada por el cinturón volcánico de la cordillera central en el cual se ubican diferentes volcanes entre los cuales se localizan el Cerro Machín, nevado del Tolima y el nevado de Santa Isabel, que son los que se encuentran de forma colindante. En las áreas de amenaza establecida por el SGC para estos volcanes se establece que el Cerro Machín es el único que presenta influencia en el área correspondiente a la cuenca del río Sumapaz.

3.1.10.1.1. Volcán Cerro Machín

El volcán Cerro Machín también es reconocido como Machín, Alto de Machín y El Hoyo, esta ubicado en el margen suroccidental del complejo Volcánico - Cerro Bravo al costado oriental de la cordillera central en el municipio de Ibagué del departamento del Tolima. El volcán se conforma por un edificio volcánico de forma anular compleja, resultado de un conjunto de relictos de anillos piroclásticos enlazados entre sí; la altura del cono no es mayor a 150 m sobre su base y posee un cráter de 2,4 Km de diámetro mayor relleno por dos domos de 250 m y 150 m de altura (Servicio Geológico Colombiano, 2018) (Ver Figura 37 y Figura 38).

El acceso al volcán se puede realizar por tres tramos viales, los cuales posibilitan el paso desde las poblaciones de Cajamarca, Boquerón, los corregimientos de Toche, Tapias y el casco urbano de Salento, lo cual facilita el acceso a los atractivos del volcán como lo son las fuentes termales, paisajismo y las fumarolas.

Tabla 14. Generalidades- volcán cerró Machín. Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2018).

UBICACIÓN	150 Km al suroccidente de Bogotá, a 17 Km al oeste de Ibagué, 30 Km al este de la ciudad de Armenia.
LATITUD	4°29' N
LONGITUD	75°22' O
ALTURA	2750 msnm
CLASIFICACIÓN	Se le ha catalogado como un anillo piroclástico complejo de 2,4 Km de diámetros máximos con domos taponando su cráter. En un volcán activo en estado de reposo.



Figura 37. Volcán Cerro Machín
Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2018).

La historia geológica del Cerro Machín se caracteriza por su alta explosividad, relacionada con la composición dacítica de los productos volcánicos emitidos; este se está construyendo sobre un basamento metamórfico paleozoico (Grupo Cajamarca), en cruce de fallas de dirección NNE con otras de tipo trasversal. Tales productos son domos, tres de los cuales taponan el conducto volcánico, depósitos de flujos piroclásticos de cenizas y pómez, de cenizas y bloques y de oleadas piroclásticas, así como depósitos provenientes de flujos de lodos (lahares) (Servicio Geológico Colombiano, 2018).

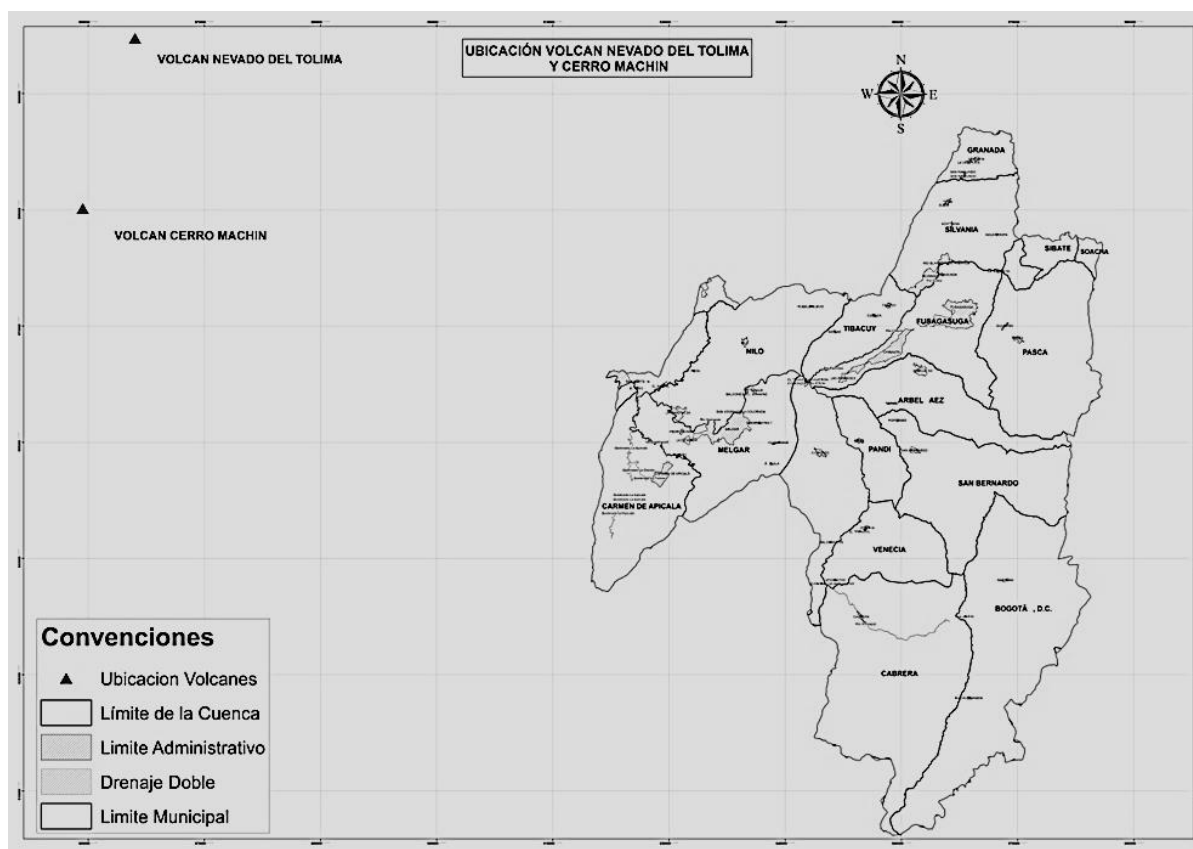


Figura 38. Ubicación volcán nevado del Tolima y Cerro Machín.
Fuente: GEOCING S.A.S.

3.1.10.2. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA VOLCÁNICA

La zonificación de la amenaza volcánica para la cuenca del río Sumapaz, se estableció a partir de la evaluación de la amenaza volcánica del Cerro Machín, para lo cual el INGEOMINAS (Actual SGC) requirió las características y condiciones geomorfológicas y climáticas del edificio volcánico y su zona de influencia, considerando adicionalmente un paralelo respecto al volcán Pinatubo (Filipinas) dada la similitud en las características eruptivas de ambos (INGEOMINAS, 2003).

De acuerdo a las características correspondientes y a partir de la condición actual de reposo, se establece un escenario eruptivo potencial consistente de fases consecutivas de actividades eruptivas (Fase 0, desde hace 800 años hasta el inicio de la fase I); fase I: estado de precrisis (meses hasta hace pocos años); fase II: inicio de crisis (semanas); fase III: erupciones magmáticas menores (días a pocas semanas); fase IV: explosiones tipo blast (días); fase V: erupción principal o paroxismal (horas a un día); fase VI: postclimática (Pocos meses); fase VII: final de la erupción (años) (INGEOMINAS, 2003).

La zonificación se elaboró a partir de los escenarios eruptivos pasados los tipos de amenaza más adecuada y la morfología del terreno, identificando así las áreas o

zonas afectadas ante su eventual ocurrencia. El volcán Cerro Machín se divide en las siguientes zonas:

- Zonas de amenaza por flujos piroclásticos.
- Zonas de amenaza por Lahares.
- Zonas de amenaza por caída de piroclásticos.
- Zonas de amenaza por emplazamientos de domos.
- Arrasamiento y destrucción de vegetación y cultivos.
- Enterramiento y aislamiento pasivo y tardío de grandes extensiones de terreno (Cerca al cauce y fuera de él) incluida la infraestructura ubicada sobre las mismas.
- Relleno de cauces naturales y artificiales.

En la Figura 39, se presenta la plancha del INGEOMINAS en la cual se representa la amenaza correspondiente a este volcán, donde el área de estudio se ubica en Flujo hiperconcentrado Zona 4, la cual corresponde al área perteneciente a los valles de los ríos Coello y Magdalena, que inicia en la Inspección de Policía de Coello y hasta Nariño (INGEOMINAS, 2003).

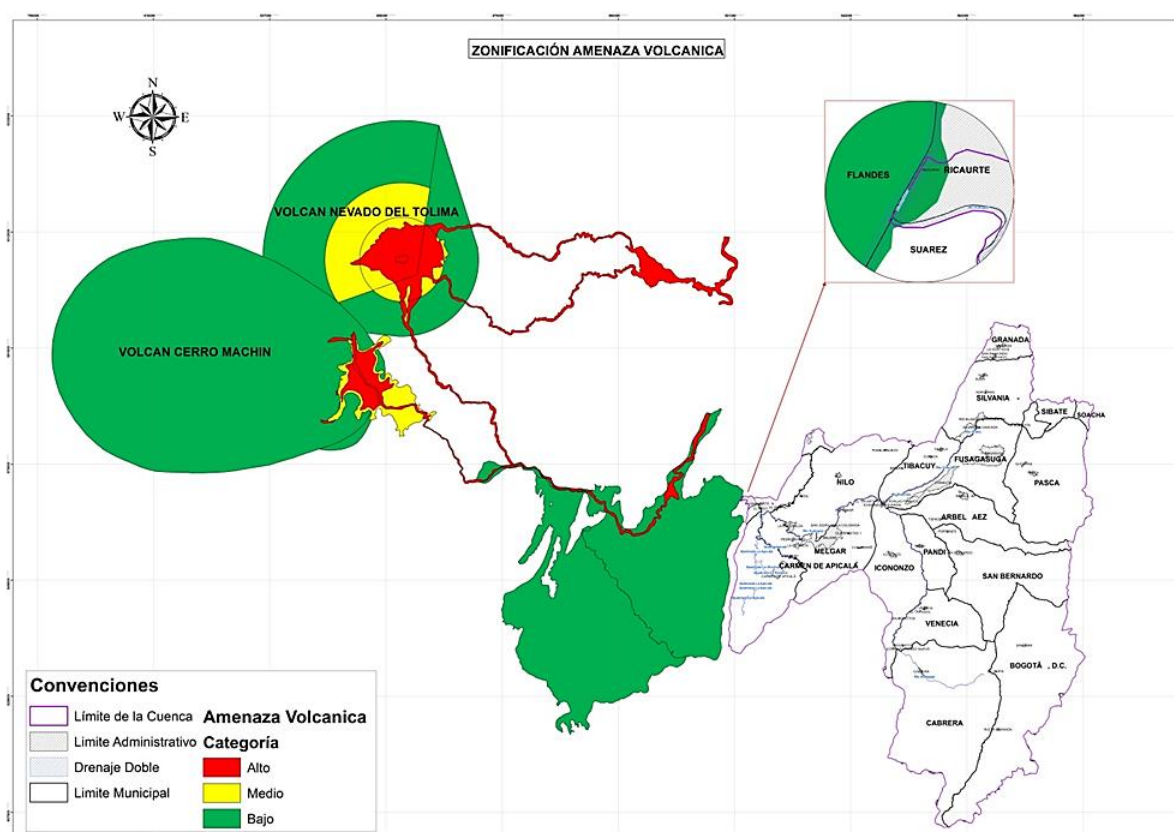


Figura 39. Zonificación de la amenaza Potencial del Volcán Cerro Machín y El Nevado del Tolima en la cuenca del Río Sumapaz. Fuente: GEOCING S.A.S

3.1.10.3. ANÁLISIS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Dentro del polígono correspondiente a la cuenca del río Sumapaz se establece que 32,82 ha se encuentran categorizadas ante la amenaza volcánica del Cerro Machín, afectando la subcuenca de Directos al Sumapaz Suarez- Ricaurte. La amenaza corresponde a un área de 32,82 ha, las cuales se distribuyen como se logra identificar en la Tabla 15, denotando que toda la amenaza que se encuentra en la cuenca se categoriza con amenaza baja, predominando el área ubicada en el municipio de Ricaurte en Cundinamarca con el 91,7% del área categorizada (30,1 ha), mientras que Suárez en el Tolima presenta el 8,3% (2,72 ha).

Tabla 15. Distribución municipal amenaza volcánica. Fuente: GEOCING S.A.S

Amenaza	Municipio	Departamento	Área (Ha)
Baja	Suárez	Tolima	2,72
Baja	Ricaurte	Cundinamarca	30,1

De acuerdo con lo anterior, la tabla 15 permite evidenciar que la amenaza volcánica en la cuenca del río Sumapaz, se ubica al occidente de la cuenca en un área que representa el 1% del área total de la cuenca, con una categoría de amenaza baja (Ver Figura 40).

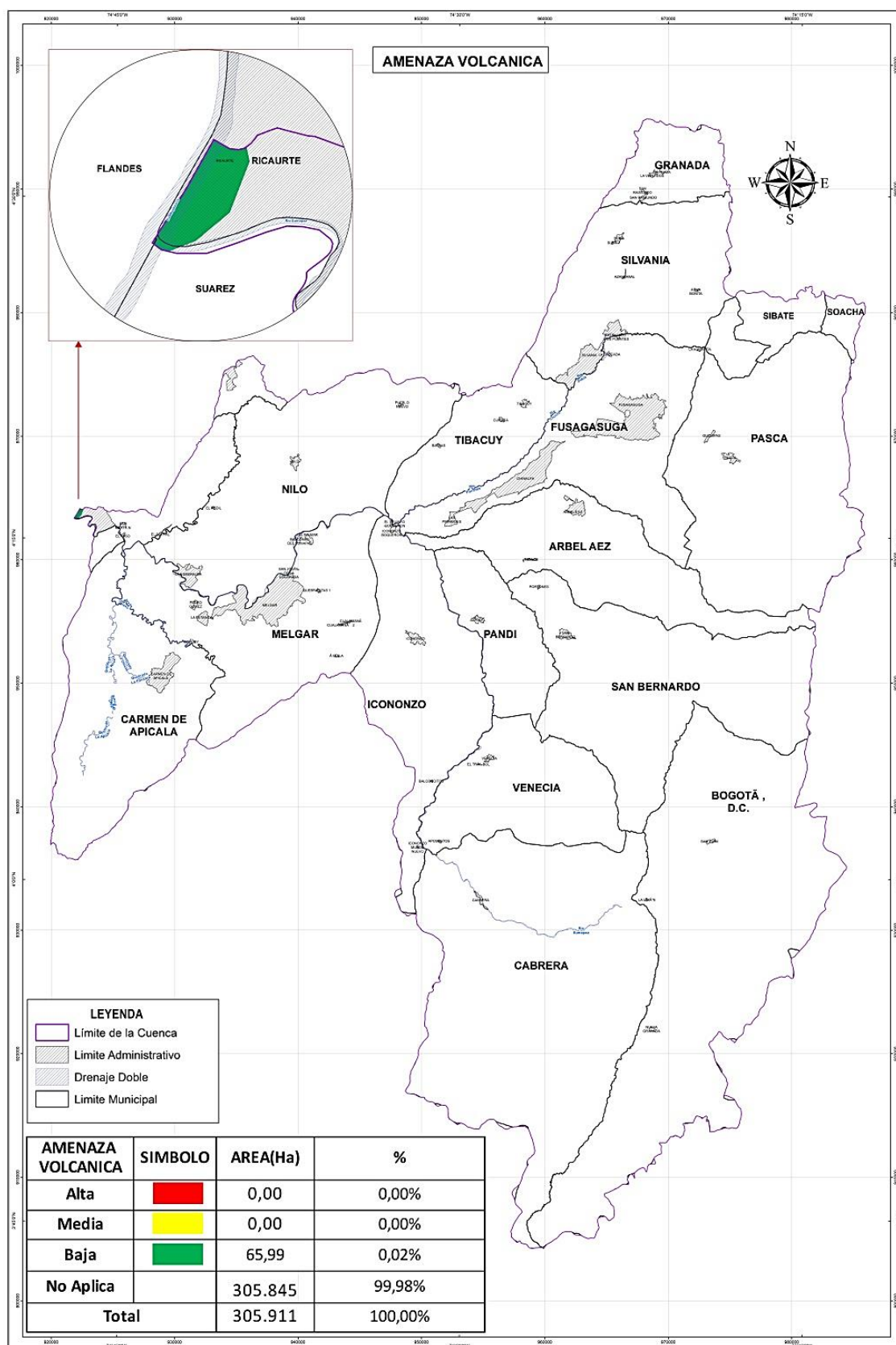


Figura 40. Amenaza Volcánica Cuenca Río Sumapaz
Fuente: GEOCING S.A.S, 2019

3.1.11. AMENAZA SISMICA

El análisis y la evaluación del riesgo se definen como “la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que éstas puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación” (Ley 1523 de 2012, 2012).

Para la elaboración de la gestión del riesgo del POMCA del río Sumpaz, se utilizó la metodología propuesta en la Guía para la Formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, Anexo B, Gestión del Riesgo planteada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. El alcance de la metodología es la evaluación y especialización de las amenazas en la cuenca hidrográfica de acuerdo con metodologías oficiales o de reconocimiento académico y científico, la identificación de la vulnerabilidad de los recursos naturales y la elaboración de escenarios de riesgos en la cuenca hidrográfica.

3.1.11.1. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

La definición de amenaza planteada en la Ley 1523 de 2012, para efectos de un POMCA se define como “peligro latente que representa la probable manifestación de un evento natural o socionatural o de origen antrópico de manera accidental con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios ambientales, afectando las condiciones físicas, bióticas, sociales y económicas en una cuenca, durante un periodo de tiempo definido para la ordenación”.

La evaluación de la amenaza se realiza a través de inventarios de fenómenos realizados de forma participativa con las entidades territoriales, los líderes comunales y la población localizada en la cuenca; observaciones y mediciones de campo, análisis y revisión de información técnico - científica disponible (mapas, fotos aéreas, informes, etc.), con el fin de conocer la probable ubicación y severidad de los fenómenos naturales peligrosos, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específica. Tiene como resultado la elaboración de un mapa de amenazas, el cual representa un elemento clave para la planificación del uso del territorio de la cuenca y constituye un insumo imprescindible para la evaluación de los riesgos actuales y potenciales.

3.1.11.2. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y predisposición a que se presenten daños y pérdidas de los elementos expuestos ante una amenaza específica. Consiste en la identificación y evaluación de los elementos vulnerables y la estimación del porcentaje de pérdidas que susceptibles de presentarse ante la

ocurrencia de un evento peligroso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Minambiente, 2014).

La susceptibilidad a que se presenten daños en las actividades productivas, la localización de asentamientos humanos y la infraestructura estratégica y de la sostenibilidad ambiental del territorio y de sus recursos naturales como expresión de la relación entre la magnitud de un evento específico y la respuesta de las áreas expuestas a este, en la cuenca hidrográfica, hace que se requiera realizar lo siguiente:

- Clasificación de las áreas de cobertura de la tierra expuestas a fenómenos amenazantes en la cuenca, de acuerdo con el modo o forma como se produciría el tipo de daño: seguridad de asentamientos humanos e infraestructura estratégica, sostenibilidad ambiental (áreas de importancia estratégica para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos).
- Estimación preliminar de los daños en las áreas expuestas para algunos de los fenómenos amenazantes identificados y analizados, a través de métodos cualitativos (criterio de experto).
- Determinación cualitativa de los niveles o categorías de vulnerabilidad de los elementos expuestos para cada área expuesta (Minambiente, 2014).

3.1.11.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Un análisis de riesgo consiste en estimar las pérdidas probables para los diferentes eventos peligrosos posibles. Evaluar el riesgo es relacionar las amenazas y la vulnerabilidad con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales frente a un determinado evento.

Para el caso de los POMCA, la evaluación de riesgos se realiza en los escenarios de riesgos priorizados. De la zonificación de la amenaza y la evaluación cualitativa de la vulnerabilidad se pasa a escenarios de riesgo y no a una zonificación de riesgos.

Para realizar una evaluación de la posibilidad a que se presenten daños o de estimar pérdidas probables que afecten la sostenibilidad de las actividades productivas, la localización segura de los asentamientos humanos, la infraestructura estratégica y la sostenibilidad ambiental de la cuenca, debido a la ocurrencia de eventos de origen natural o socio-natural en el período definido para la ordenación de ésta. Se debe evaluar de manera comparativa las afectaciones y los daños en relación a la frecuencia que se puedan presentar en el periodo de planeación proyectado.

Proceso metodológico

El proceso metodológico empleado consistió en definir las amenazas a analizar en la cuenca, realizar la zonificación de la amenaza relativa por cada tipo de amenaza, definir e identificar la vulnerabilidad, para finalmente construir los escenarios de riesgo.

A continuación, se describen detalladamente cada uno de estos procesos:

- Determinación de las amenazas a evaluar

El Instituto Colombiano de Geología y Minería [INGEOMINAS], ahora Servicio Geológico Colombiano, en el año 2010, en asocio con la Universidad Nacional de Colombia, realizó la actualización de la zonificación de la amenaza sísmica para el país, generando el Mapa Nacional de Amenaza Sísmica a escala 1:1'500.000, basados en la magnitud de los sismos registrados en Colombia.

Este mapa integra los avances en el conocimiento de la tectónica regional de la actividad de las estructuras sismogénicas en nuestro territorio y los efectos de la atenuación en la transmisión de ondas sísmicas. Estos conocimientos provienen de nuevas fuentes locales de información instrumental, estudios de las manifestaciones en el terreno de grandes eventos, información de los efectos de sismos históricos y de la disponibilidad de bases de datos globales estandarizadas y en general, de los avances en los conocimientos en el tema de la amenaza sísmica.

A continuación, se evaluará la amenaza sísmica para la cuenca del río Sumapaz, con base en la información de datos de eventos históricos contenidos y registrados en la Red Sismológica Nacional.

- Zonificación de la amenaza relativa

La amenaza sísmica se define como la probabilidad de que un parámetro como la aceleración, la velocidad o el desplazamiento del terreno producido por un sismo, supere o iguale un nivel de referencia (Ingeominas & Universidad Nacional de Colombia, 2010).

- Registros históricos

Para identificar los sismos ocurridos dentro al área de la cuenca del río Seco, se recopiló la información de sismicidad de la Red Sismológica Nacional de Colombia [RSNC]. Dentro del área específica de evaluación de la cuenca no se ha presentado el epicentro de ningún sismo, pero se han sentido diferentes tremores con origen en otras partes del país, de los cuales se tiene información concerniente a la latitud y longitud, profundidad del epicentro y magnitud del sismo.

La información de los sismos registrados dentro de la cuenca del río Sumapaz se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16. Registro histórico de sismos en la cuenca del río Sumapaz. Fuente: Red Sismológica Nacional de Colombia, 2019

Fecha	Epicentro	Latitud	Longitud	Magnitud Epicentro	Intensidad Municipio	Profundidad (Km)	Municipio
1995/02/08	Calima, Valle	4.06	-76.56	6.4	4	71	Nilo
1917/08/31	Villavicencio, Meta	3.78	-74	6.7	7	15	Fusagasuga
1923/12/22	Medina, Cundinamarca	4.64	-73.36	5.9	5	15	
1966/09/04	Choachí, Cundinamarca	4.6	-73.9	5.2	5	8	

Fecha	Epicentro	Latitud	Longitud	Magnitud Epicentro	Intensidad Municipio	Profundidad (Km)	Municipio
1785/07/12	Suroriente De Cundinamarca,	2.98	-74.37	7.1	6	10	Pasca
1917/08/31	Villavicencio, Meta	3.78	-74	6.7	8	15	
2008/05/24	Quetame, Cundinamarca	4.4	-73.81	5.9	4	9	Melgar
1785/07/12	Suroriente De Cundinamarca,	2.98	-74.37	7.1	7	10	Soacha
1827/11/16	Altamira, Huila	1.8	-75.52	7.1	7	15	
1917/08/31	Villavicencio, Meta	3.78	-74	6.7	7	15	
1966/09/04	Choachí, Cundinamarca	4.6	-73.9	5.2	7	8	
1967/02/09	Colombia, Huila	2.93	-74.83	7	8	36	Soacha
1967/02/09	Colombia, Huila	2.93	-74.83	7	6	36	Cabrera
1967/02/09	Colombia, Huila	2.93	-74.83	7	6	36	San Bernardo
1925/06/07	Tuluá, Valle	4.02	-76.07	6.8	5	120	Pandi
1967/02/09	Colombia, Huila	2.93	-74.83	7	7	36	Arbeláez

- Zonificación de la amenaza sísmica

De acuerdo con el mapa nacional de amenaza sísmica, la cuenca del río Sumapaz se encuentra en una zona con amenaza sísmica intermedia, solo unos cuantos municipios se ubican en una zona con amenaza sísmica alta como se observa en la Figura 41. Los valores de aceleración horizontal máxima (PGA) varían entre 100 y 200 cm/s^2 , al atravesar los diferentes sectores definidos para la cuenca en evaluación (Ver Tabla 17).

Tabla 17. Grados de amenaza en función de la aceleración horizontal máxima – PGA.

Amenaza sísmica	Aceleración horizontal máxima – PGA (cm/s^2)
Muy Bajo	0-50
Bajo	50-100
Medio	100-200
Alto	150-300
Muy Alto	300-400

Fuente: Servicio Geológico Colombiano [SGN], 2016.

Al contar con un registro de los sismos en el área de la cuenca, se tiene el mapa de zonificación sísmica con la intensidad esperada de llegarse a presentar un sismo en la región del río Sumapaz (Figura 42). La zona de estudio presenta una intensidad esperada de moderada a fuerte (100 a 300 PGA) de acuerdo con la Tabla 17.

Así mismo, se tiene el mapa de la intensidad máxima observada, actualizada al año 2016 por el SGC, en el cual la cuenca del río Sumapaz se ubica entre daño leve a fuerte, con algunas áreas en zonas de daño moderado (Ver Figura 43).

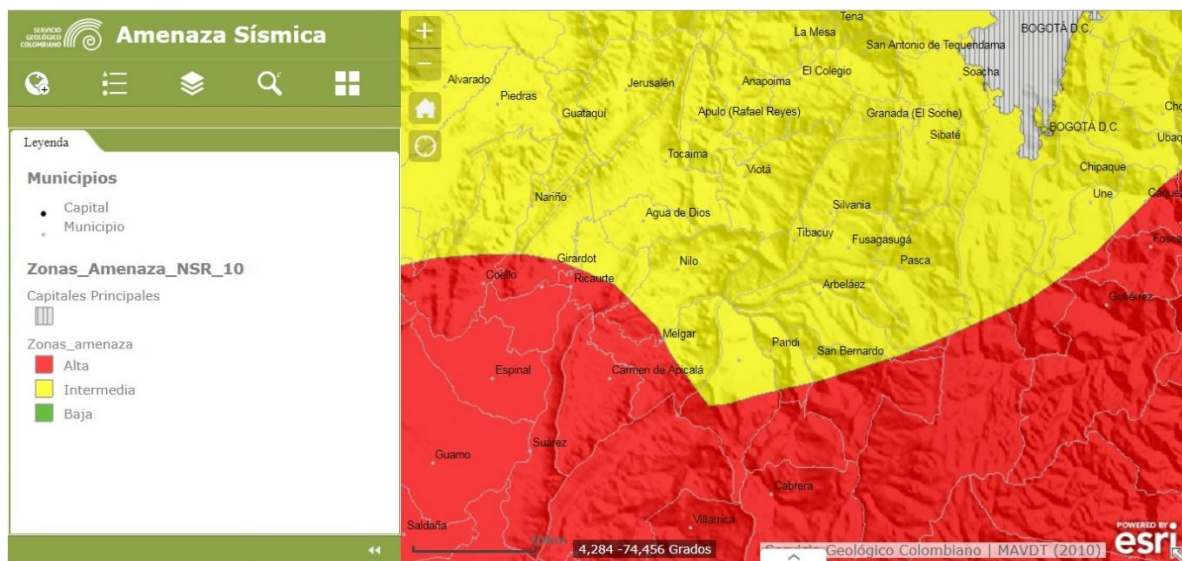


Figura 41. Zonificación sísmica de la cuenca del río Sumapaz

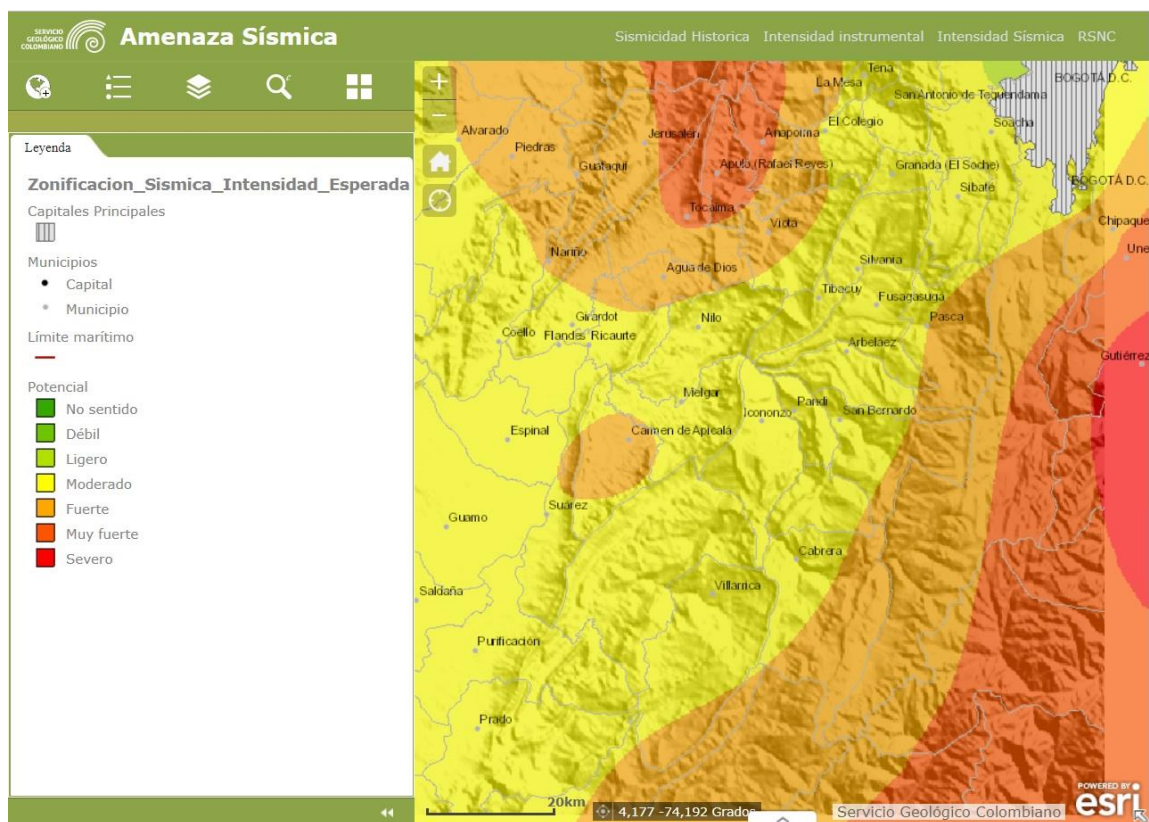


Figura 42. Zonificación sísmica, intensidad esperada en la cuenca del río Sumapaz

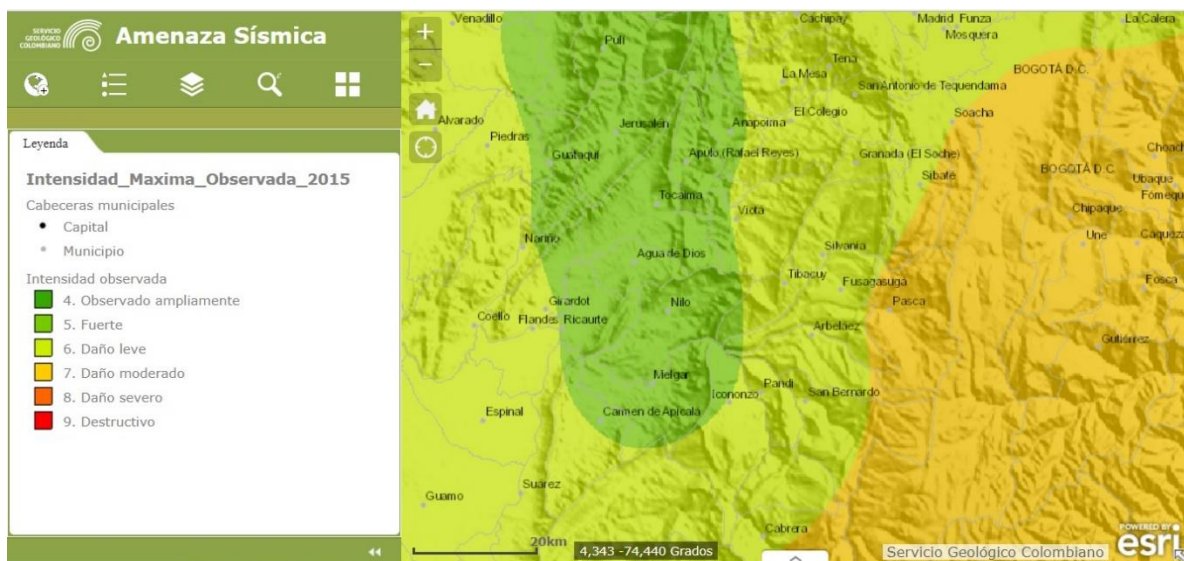


Figura 43. Zonificación sísmica, intensidad máxima observada en la cuenca del río Sumapaz.

3.1.11.4. VULNERABILIDAD

En la cuenca del río Sumapaz se identificaron elementos expuestos que determinan vulnerabilidad social, física, económica y ambiental. El 95% del área de la cuenca se encuentra en amenaza intermedia por sismicidad, presentando valores de aceleración horizontal máxima (PGA) que varían entre 100 y 200 cm/s^2 . La vulnerabilidad social para este caso radica en la exposición de la comunidad a la ocurrencia de estos eventos, puesto que la población no se encuentra preparada para prevenir, reaccionar y superar estos eventos. Se consideró que el grado de vulnerabilidad social para la amenaza sísmica es alto, especialmente hacia la cuenca media y baja, donde se encuentra una alta densidad poblacional y la amenaza sísmica es moderada a alta.

La vulnerabilidad física se refiere a la presencia de infraestructura de importancia comunitaria o infraestructura estratégica, dentro de la cuenca del río Sumapaz que se ubica en una zona de amenaza intermedia a alta, se encuentran: hospitales, aeropuertos, estaciones de bomberos, estaciones de policía, escuelas, nacederos de agua, plantas de tratamiento de aguas residuales, bocatomas (captaciones de agua), pozos de agua subterránea, rellenos sanitarios, vías de comunicación (incluyendo puentes) y una gran cantidad de viviendas y construcciones (CAR, 2017).

La vulnerabilidad económica se determina por la exposición a actividad sísmica de la infraestructura económica tal como estanques para acuicultura, cultivos agrícolas, el sistema productivo más grande al interior de la cuenca (caracterizados y descritos anteriormente), contando también los pastos y consecuentemente, los potreros para pastoreo de ganado y semovientes que se encuentran en la cuenca y dan cabida a un aceptable número de cabezas de ganado y que complementa económicamente los sistemas productivos mencionados previamente.

La vulnerabilidad ambiental o ecológica por amenaza sísmica está relacionada indirectamente por la generación de procesos de movimientos en masa, en la cual los sismos son factores detonantes.

5.4.1 Escenarios de riesgo

Teniendo en cuenta que los sismos no son eventos cíclicos o frecuentes, no es posible predecir cuándo se presentarán. Los escenarios de riesgo para estos casos, corresponden a la ocurrencia de un sismo y la manera como se verán afectados los elementos expuestos en la cuenca, dependiendo de la zonificación de amenaza por sismicidad y de la intensidad esperada y de cómo se afectaría la población y la infraestructura estratégica, etc. Para la cuenca del río Sumapaz se definió un solo escenario: de riesgo moderado, que se describe a continuación.

- **Escenario de riesgo moderado:** corresponde a aquellas situaciones donde se espera que se presenten pérdidas parciales o totales por la ocurrencia de un sismo con aceleración esperada entre 100-200 cm/s², donde se vean involucrados varios tipos de vulnerabilidad.

Este escenario se daría en las zonas de amenaza sísmica moderada, donde se puede presentar afectación total o parcial de infraestructura, interrupción y afectación de vías de comunicación, colapso de estructuras, además del desencadenamiento de otros eventos, como fenómenos de movimientos en masa o avenidas torrenciales que pueden afectar la calidad del recurso hídrico. Para este escenario se espera afectación en la sostenibilidad de las actividades económicas de la región, que se espera se restablezca a largo plazo (CAR, 2017).

CONCLUSIONES

- La cuenca hidrográfica del río Sumapaz cuenta con un total de 30 unidades litológicas, todas de origen sedimentario, que comprenden desde el periodo Cretácico hasta el Cuaternario.
- El sistema de fallas de Quininí separa en dos sectores la zona de estudio, debido a que al occidente afloran rocas pertenecientes a la cuenca sedimentaria del Valle Superior del Magdalena y al oriente rocas de la cuenca sedimentaria de la Cordillera Oriental.
- En la cuenca predomina un ambiente tectónico compresional, donde se evidencia entre otras, trazas de fallas de cabalgamiento, con rumbos aproximados al norte – nororiente.
- En la cuenca, predomina en mayor proporción rocas sedimentarias de composición lodosa, que contrastan con fuertes escarpes de composición arenosa.
- Extensos y espesos abanicos fluviotorrenciales de edad cuaternaria, así como depósitos glaciales, evidencian cambios climáticos notorios sucedidos en el periodo cuaternario.
- Las unidades Cretácicas son correlacionables entre los dos sectores, no obstante las unidades de los periodos Paleógeno y Neógeno, poseen relaciones espacio-temporales y características litológicas que las hacen distintivas.
- Los procesos que levantaron y moldearon la Cordillera Oriental, son los principales responsables en desarrollar la división de los sectores en la cuenca del río Sumapaz, debido a que las condiciones de sedimentación en la cuenca cambiaron desde el periodo Paleógeno.
- El sector correspondiente a la cuenca de la Cordillera Oriental se destaca por poseer extensos depósitos cuaternarios de origen glacial, desarrollados a partir de los eventos de glaciación en la cuenca alta del río de Sumapaz.
- La cuenca posee un total de siete estructuras principales de pliegues regionales, consistiendo en tres anticlinales y cuatro sinclinales.
- En el sector del Valle Superior del Magdalena, se encuentra el sinclinal de Carmen de Apicalá, siendo la única estructura regional de esta área.
- El área correspondiente a la cuenca de la Cordillera Oriental, posee un alto control estructural, puesto a que cuenta con la mayor cantidad de estructuras regionales, entre las que se destacan los sinclinales de Cabrera y San Juan.

En la cuenca del río Sumapaz se delimitaron 93 Unidades Geológicas Superficiales (UGS), contando con 25 unidades de suelos y 68 unidades de roca.

- Las unidades de Roca Blanda son las de mayor abundancia en la zona de estudio, debido a que la litología de la cuenca se compone por rocas arcillolitas y lodolitas, que se meteorizan fácilmente.
- Las unidades de Roca Blanda poseen mayor extensión en laderas de inclinaciones inferiores a 20°, debido a que están compuestas por arcillolitas y lodolitas que desarrollan relieves suavizados o por areniscas que han sufrido procesos denudativos.
- Las unidades de Roca Dura se disponen principalmente en laderas con inclinaciones superiores a los 30°, debido a que se componen por areniscas que presentan grados de meteorización moderado a bajo.
- Las unidades de rocas blandas e intermedias con pendiente alta, pueden llegar a presentar problemas de inestabilidad, puesto que, son rocas que presentan meteorización altos, logrando que las rocas pierdan competencia que en combinación con la alta inclinación, los materiales sean transportados a zonas de menor inclinación.
- Las unidades de suelos residuales son el resultado de procesos de meteorización intensos, siendo sitios con probabilidad de presentar problemas de movimientos en masa.
- La unidad Suelo Transportado de Inestabilidad Reciente (Stir) es evidencia de procesos de movimientos en masa, depositada en la zona de menor inclinación en la ladera.
- Las unidades Suelo Transportado Aluvial (Stfal) y Suelo Transportado Aluvial Activo (Stfala) son constantemente afectadas por las corrientes de agua, siendo sectores con problemas de eventos de inundación.
- La unidad de Suelo Transportado Fluvio-torrencial (Stft) se encuentra delimitada sobre las márgenes de los drenajes que han presentado eventos de avenidas torrenciales, siendo zonas propensas a presentar nuevamente esta problemática.

BIBLIOGRAFÍA

Cáceres, C., & Etayo, F. (1969a). Bosquejo geológico de la región de Tequendama. Congreso Colombiano de Geología, guía de la excursión precongreso, 23.

Cáceres, C., & Etayo, F. (1969b). Memoria cuadrángulo L-10 Fusagasugá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Geología. Bogotá: INGEOMINAS.

Caicedo, J., & Terraza, R. (2000). Mapa Geológico de la Plancha 264 Espinal Escala 1: 100.000. INGEOMINAS, Bogotá.

De Porta, J. (1965). Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario en el Extremo Sur del Valle Medio del Magdalena. En U. I. Santander, Boletín Geológico, No 19 (págs. 5-30). Bucaramanga.

De Porta, J. (1974). L'Échelle stratigraphique internationale. Colombie (deuxième partie) Volumen. Fascicule 4B. París: Centre National de la Recherche Scientifique.

Dearman, W. (1974, 1991). Weathering Classification in the characterization of rock for engineering purposes in British practice. International Association of Engineering Geology, EE UU.

Elena González Cárdenas. (s.f.). Slide. Recuperado el 30 de 01 de 2019, de <https://slideplayer.es/slide/1101332/>

Franco, R., & Gómez, H. (1978). La geología del valle alto del Magdalena y áreas circundantes mediante el uso de imágenes ERTS. Revista CIAF, Volumen 4, No 1, 39-44.

González de Vallejo, L. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Prentice Hall.

Guerrero, J., & Sarmiento, G. (1996). Estratigrafía física, Palinológica y secuencial del Cretáceo Superior y Paleoceno del Piedemonte Llanero. Implicaciones en Exploración Petrolera. Geología Colombiana No. 20. Bogotá.

Helmes, K. (1990). Neogen-Quaternary Geology of the High Plain of Bogotá (Eastern Cordillera, Colombia): Stratigraphy Paleoenvironments and Landscape Evolution. Thesis Ph.D, University of Amsterdam, Hugo de Vries Laboratory.

Hemélin, M. (1985). Suelos, Rocas y Formaciones Superficiales. DYNA.

Hettner, E. (1892). Die Kordillere von Bogotá. Bogotá.

Hoek et al. (1998). Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. Bull Eng Geol Env.

Hubach, E. (1931). Geología Petrolífera del Departamento de Norte de Santander. Bogotá: Servicio Geológico Nacional.

Hubach, E. (1931). Geología Petrolífera del Departamento de Norte de Santander. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano, Informe 176.

Hubach, E. (1945 (Escrito en 1933)). La Región de Panga-Panga, al Noreste de Choachí (Cundinamarca). En INGEOMINAS, CEGEOC. Bogotá.

Hubach, E. (1957). Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. Boletín INGEOMINAS V5, 93-112.

Hubach, E. (2002). Formación Guaduas. En C. Caicedo, J. Garay, & Lara, Memoria explicativa. Compilación geológica y fotogeología de la plancha 265 - Icononzo Escala 1:100.000 (pág. 40). Bogotá: INGEOMINAS.

IAEG. (1981). Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. Bulletin of the international association of engineering geology. N. 24.

IGAC. (2014). Instructivo operación del Skecthmaster. Documento Interno, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Grupo Interno de trabajo de geomática, Bogotá.

INGEOMINAS. (2001). Memoria explicativa de la plancha 246 Fusagasugá. Bogotá.

INGEOMINAS. (2001). Memoria explicativa de la plancha 246 Fusagasugá. Bogotá.

INGEOMINAS. (2002a). Memoria explicativa de la plancha 245 a escala 1: 100.000 Girardot. Bogotá.

INGEOMINAS. (2002b). Memoria Explicativa de la plancha 264 Espinal. Bogotá.

INGEOMINAS. (2002c). Memoria explicativa de la plancha 265 a escala 1: 100.000 Icononzo. Bogotá.

Jullivert, M. (1963). Los rasgos tectónicos de la región de la Sabana de Bogotá y los mecanismos de formación de estructuras. Boletín Geológico UIS No 13, 5-102.

Jullivert, M. (1968). Formación Chipaque. En INGEOMINAS, Memoria explicativa de la plancha 265 Icononzo (pág. 31). Bogotá.

Laverde, F. (1989). Stratigraphy of the Tertiary sequence Southwest of Bogotá. Colombia: Northeastern Upper, Magdalena Valley Western Edge of the Cordillera Oriental. Thesis Ms, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología, Bucaramanga.

Mojica, J., & Franco, R. (1992). Estructura y evolución tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena. Geología Colombiana, No 17, 41-64.

Oppenheim, V. (1940). Glaciaciones Cuaternarias de la Cordillera Oriental de Colombia. INGEOMINAS, Informe 276, Bogotá.

Padilla, e. (2004). Propuesta Metodológica para el Desarrollo de una Zonificación. Ingeniería Geológica, U.P.T.C No. 1.

Petters, V. (1954). Typical Foraminiferal Horizons in the Lower Cretaceous of Colombia. *Foram Res*, 5 -3, 128 - 137.

Renzoni, G. (1962). Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al este y suroeste de Bogotá. *Boletín Geológico*, V 10, No 1-3, 59-79.

Renzoni, G. (1968). Geología del Macizo de Quetame. En F. d. Universidad Nacional, Geología colombiana No. 5 (págs. 75 - 127). Bogotá.

Salazar, A., & Perez, G. (1978). Estratigrafía y Facies del Grupo Guadalupe. *Geología de Colombia* No 10, 7-85.

Salazar, J. (1995). Prouesta Metodológica en los estudios geológico - ambientales. *Revista Ingeniería Geológica*, U. P. T. C No. 1.

scheibe, R. (1934). Las relaciones entre los pisos de Honda, Gualanday y Barzalosa. *CEGOC*, 63-96.

Servicio Geologico Colombiano. (2015). Memoria explicativa de la plancha 285 Santana. Bogotá.

SGC, S. (2017). Guía metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa a escala 1: 25.000. Bogotá.

SGC, Servicio Geológico Colombiano. (2015). Notas explicativas: Mapa Geológico de Colombia. Bogotá.

Van der Hammen, T. (1957). Estratigrafía Palinológica de la Sabana de Bogotá. (S. G. Colombiano, Ed.) *Boletín Geológico*, 187 - 203.