

**CONTRIBUCIÓN A LOS ESTUDIOS DE GEOMORFOLOGÍA PARA LA
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA RELATIVA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN
LA PLANCHA 343 (ESCALA 1:100.000); SECTOR CENTRAL DEL MACIZO
COLOMBIANO, DEPARTAMENTO DEL CAUCA.**

OSCAR EDUARDO ROMERO GONZALEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2015

**CONTRIBUCIÓN A LOS ESTUDIOS DE GEOMORFOLOGÍA PARA LA
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA RELATIVA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN
LA PLANCHA 343 (ESCALA 1:100.000); SECTOR CENTRAL DEL MACIZO
COLOMBIANO, DEPARTAMENTO DEL CAUCA.**

OSCAR EDUARDO ROMERO GONZALEZ

Trabajo de grado para optar al título de Geólogo

Director

JUAN DIEGO COLEGIAL GUTIÉRREZ

Doctor en Geología

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

Dedicado a todas las personas que de uno u otra forma hicieron parte de este gran logro personal que gracias a dios culmina con éxito.

Para mi papa EDUARDO por con sus consejos y colaboración que ayudaron en mi crecimiento personal.

Para quienes fueron gran parte de mi fortaleza, mis Hermanas CLAUDIA MILENA Y DIANA GISELLE que fueron dos de mis tres angelitos que siempre estuvieron al frente cuando lo necesite durante esta grandiosa etapa, Que las quiero con toda mi alma.

A mi hermano JULIÁN ANDRÉS que siempre estuvo muy pendiente apoyándome incondicionalmente, que también lo quiero mucho.

Con mucho cariño para mis sobrinos CAMILA ALEJANDRA, SANTIAGO KAYLA CARISSA, LIAM JEREMY Y KEVIN ISAAC, que también fueron motivo de inspiración para la culminación de este proyecto.

Por ultimo quiero dedicar este logro a mi otro angelito y una de mis mayores motivaciones e inspiraciones, mi mamá MARTHA CECILIA GONZALEZ, que con su esfuerzo, dedicación, cariño y amor nos sacó a mí y a mis hermanos adelante con gran valentía y tenacidad a pesar de las dificultades y que inculco en nosotros los buenos valores para ser mejores personas, Que aunque no está en este momento con mígo y mis hermanos siempre será el ejemplo y el orgullo de nosotros, mil gracias madre.

OSCAR EDUARDO ROMERO GONZALEZ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a DIOS por darme fortaleza y la capacidad para realizar y culminar con éxitos esta dura etapa.

A don Jaime Almeida por su colaboración y apoyo incondicional durante gran parte como estudiante de la Universidad Industrial de Santander y que fue de vital importancia.

Mis más profundos agradecimientos a todos los profesores por su esfuerzo y disposición a enseñar y compartir sus conocimientos a lo largo de la carrera en pro de la excelencia profesional.

A Juan Diego Colegial Gutiérrez, Geólogo, PhD., por su colaboración y aporte en la dirección de este proyecto.

Al geólogo Joaquín Andrés Valencia por la oportunidad y la confianza brindada para la realización del proyecto.

A los compañeros del proyecto, Diego Hernández, Edwin Díaz, Ferney Hernández, Isabel Ardila, Jesús Rincón, Joaquín Valencia, Jorge Chaparro, Laura Jaimes, Oscar Forero, Steven Flórez y William Duarte gracias por su aporte de conocimiento.

A mis compañeros y amigos Carlos Villarreal, Cristina Cediel, Erika Esparza, Mauricio Plata, Ricardo Pacheco, Stefano Serna y Zayra Rojas, gracias infinitas por el apoyo y la compañía, además de agradecerles por brindarme su valiosa amistad.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2 JUSTIFICACIÓN	20
3 OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4 MARCO CONCEPTUAL	22
4.1 MORFOGÉNESIS	23
4.2 MORFODINÁMICA	29
5 DISEÑO METODOLÓGICO	36
5.1 FASE I: RECOPIACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN PRELIMINAR DE LA INFORMACIÓN	37
5.2 FASE II: RECOLECCIÓN DE DATOS EN CAMPO Y VERIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN PRELIMINAR	38
5.3 fase III: ALIMENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS SIMMA.	42
5.4 FASE IV: REVISIÓN Y ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL	43
6 GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	44
6.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	44
6.2 POBLACIÓN	45
6.3 VÍAS DE COMUNICACIÓN	46
6.4 HIDROGRAFÍA	46
6.5 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO	46
6.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS DE LA ZONA DE ESTUDIO	47
7 MARCO GEOLÓGICO	49
7.1 ESTRATIGRAFÍA	51
7.1.1 Ortogranito de La Plata (PCap)	51
7.1.2 Neis de Quintero (PZnq)	51
7.1.3 Complejo Cajamarca (PZmc)	51

7.1.4	Metasedimentitas de Vitoncó (PZ?mv).....	52
7.1.5	Complejo Arquía.....	52
7.1.6	Dunita Serpentinizada de Muñoz (PZ?sm).....	52
7.1.7	Esquistos Verdes y cuarzosos de La Mina (PZ?evm; PZ?ecm).....	53
7.1.8	Granitoide de Bellones (MZgb)	53
7.1.9	Formación Saldaña (Js)	53
7.1.10	Batolito de Ibagué (Ji)	54
7.1.11	Esquistos Glaucofánicos de Jambaló (K1egj)	54
7.1.12	Metagabro de Pueblo Nuevo (Kgpn).....	54
7.1.13	Complejo Quebradagrande (KcqV).....	55
7.1.14	Conglomerados de San Antonio (Kcsa)	55
7.1.15	Arenitas de La Palmera (Kap)	56
7.1.16	Lodolitas de El Pedregal (Klp)	56
7.1.17	Arenitas Blancas del Cerro Tambor (Kbct).....	56
7.1.18	Formación Coquiyú (Kq)	57
7.1.19	Pórfido Andesítico de El Pisco (Nep)	57
7.1.20	Pórfido Andesítico de Mosoco (Nmo).....	57
7.1.21	Stock de Pitayó (Npi).....	58
7.1.22	Formación Guacacayo (NQg)	58
7.1.23	Formación Popayán	58
7.1.24	Depósitos aluviales (Qal, Qt).....	59
7.1.25	Depósitos coluviales (Qc).....	59
7.1.26	Depósitos lacustres (Ql)	59
7.1.27	Depósitos glaciales (Qg)	59
7.1.28	Depósitos originados por flujos de lodo (Qfl).....	60
7.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	60
7.2.1	Falla San Jerónimo	61
7.2.2	Falla Silvia - Pijao.....	61
7.2.3	Falla Las Estrellas	62
7.2.4	Falla El Crucero.....	62
7.2.5	Falla Piendamó	63
7.2.6	Falla Popayán	63
7.2.7	Falla Moras	63

7.2.8	Falla Inzá.....	64
7.2.9	Falla Santa Rosa.....	65
7.2.10	Falla Calambayú	65
7.2.11	Falla Tálaga	65
7.2.12	Falla El Molino.....	66
7.2.13	Falla Tóez	66
7.2.14	Falla del Río Símbola	66
7.2.15	Fallas transversales NW-SE. Falla Paso de Bobo.	66
8	ANTECEDENTES	67
9	RESULTADOS.....	71
9.1	MORFODINÁMICA	71
9.1.1	Movimientos observados.....	76
9.2	MORFOGÉNESIS	89
9.2.1	Geoformas de origen denudacional	92
9.2.2	Geoformas de origen estructural	98
9.2.3	Geoformas de origen volcánico.....	113
9.2.4	Geoformas de origen glaciar y periglaciar.....	118
9.2.5	Geoformas de origen fluvial	124
10	CONCLUSIONES	128
11	RECOMENDACIONES	131
	BIBLIOGRAFÍA.....	132
	ANEXOS.....	137

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema modificado de jerarquización geomorfológica (Modificado de SGC, 2012).....	24
Figura 2. Patrón de drenaje controlado por estructura o pendiente (SGC, 2012.)	27
Figura 3. Tipos de Movimientos en Masa, (Tomado de SGC, 2012).	30
Figura 4. Caídas de roca, (Tomado de SGC, 2012).	31
Figura 5. Esquema ilustrativo de volcamiento de bloques (Tomado y modificado de Cruden y Varnes, 1996).....	32
Figura 6. Esquema de un deslizamiento rotacional (Tomado de SGC, 2012).	33
Figura 7. Deslizamiento traslacional (Tomado de SGC, 2012).	34
Figura 8. Flujo de detritos (Tomado de SGC, 2012).	35
Figura 9. Formato de recolección de datos para Cartografía Geomorfológica (UIS, 2013).....	39
Figura 10. Formato Modificado para inventario de Movimientos en Masa Vs 2012 (SGC, 2013a). Página 1.....	40
Figura 11. Formato Modificado para inventario de Movimientos en Masa Vs 2012 (SGC, 2013a). Página 2.....	41
Figura 12. Plataforma del Sistema de Información de Movimientos en Masa-SIMMA del Servicio Geológico Colombiano (SGC).	42
Figura 13. Mapa de localización de la plancha 343 Silvia.....	44
Figura 14. Mapa geológico generalizado de la plancha 343-Silvia (Ruiz & Marquínez, 2002).....	50
Figura 15. Unidades geomorfológicas de la memoria explicativa 343-Silvia. Tomado de Ruíz y Marquínez (2003).	70
Figura 16. Deslizamiento traslacional de detritos en la vereda Córdoba.	77
Figura 17. Flujo de detritos en la ladera oeste del Río Páez, zona Las Juntas-La Cruz, vereda Chupadero.....	77
Figura 18. Caída de roca sobre la vía Gabriel López-Inza, vereda Las Margaritas.	78
Figura 19. Deslizamiento traslacional de tierras en la vía Paniquitá Piendamó.	79
Figura 20. Deslizamiento traslacional de tierras con desarrollo de erosión en surcos.	79
Figura 21. Deslizamiento traslacional de tierra. Quebrada Juanambú, sector El Peñol.....	81

Figura 22. Deslizamiento rotacional vereda Manchei en Vía Silvia-Jambaló, Quebrada Manchei.	81
Figura 23. Mapa de ambientes morfogenéticos de la plancha 343.....	90
Figura 24. Unidad Cono o Lóbulo de Deslizamiento Traslacional (Ddtr).	93
Figura 25. Unidad Cono o Lóbulo de Flujo de Lodo (Dfl), en la población de El Pedregal. Tomado y modificado de Google Earth.	94
Figura 26. Unidad Sierra Denucada (Dsd), sector del caserío Turmina.	95
Figura 27. Unidad Lomo Denucado (Dld), al sureste del corregimiento indígena de Paniquitá.....	98
Figura 28. Unidad Sierra Homoclinal (Ssh), vereda Chuluambo (resguardo indígena de Quizgo).....	100
Figura 29. Geoforma Ladera Estructural de Sierra Homoclinal (Sshle) en la vereda calderas.	101
Figura 30. Unidad Ladera de Contrapendiente de Sierra Homoclinal (Sshlc).....	102
Figura 31. Unidad Ladera Contrapendiente (Slcp).....	104
Figura 32. Deslizamiento traslacional de tierras sobre la unidad Ladera Contrapendiente (Slcp)	104
Figura 33. Geoforma Lomo de Falla (Slf), vía Inzá-Belalcazar	106
Figura 34. Unidad Espolón Faceteado (Sefc).	107
Figura 35. Geoforma Cerro Estructural (Sce), localizada en el cerro Gargantilla.	108
Figura 36. Unidad Gancho de Flexión (Sgf). Caserío indígena de Tóes.....	109
Figura 37. Geoforma Plano Aluvial Confinado (Svc), vereda Valle Nuevo.	110
Figura 38. Unidad Lomo de Obturación (Slo).....	111
Figura 39. Geoforma volcánica Flujo de Lava (Vfl).	115
Figura 40. Unidad Escarpe de Flujo de Lava (Vfle), vía Gabriel López–Inzá. Vereda Las Margaritas.....	116
Figura 41. Panorámica de la unidad Manto de Piroclastos (Vmp). En segundo plano la geoforma Plano Glaciolacustrino (Gpgl).....	117
Figura 42. Unidad cono glaciofluvial (Gcgf). En la parte superior la geoforma Flujo de Volcánico Glaciado (Gfv).	120
Figura 43. Foto panorámica de la unidad Flujo Volcánico Glaciado (Gfv).	121
Figura 44. Plano glaciolacustrino (Gpgl), Ciénaga de Calvache.....	122
Figura 45. Geoforma Sierra Homoclinal Glaciada (Gshg). Paramo de Moras.	124
Figura 46. Unidades Cauce aluvial (Fca), Terrazas de acumulación (Fta), Escarpe de terraza de acumulación (Ftae) y Plano o llanura de inundación (Fpi) asociadas a la actividad fluvial del Río Páez.	127

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Porcentaje por municipios en la plancha 343-Silvia de los movimientos en masa registrados en la base de datos SIMMA hasta el año 2012.	68
Gráfica 2. Porcentaje por décadas de los movimientos en masa en la plancha 343-Silvia hasta el año 2012.	69
Gráfica 3. Densidad de movimientos presentes en la plancha 343-Silvia por zonas.	82
Gráfica 4. Distribución de la densidad de movimientos en masa según su mecanismo.	83
Gráfica 5. Distribución de la densidad de Estado de la actividad de movimiento. .	84
Gráfica 6. Distribución de la actividad de movimiento.	84
Gráfica 7. Distribución de la densidad de Estilo de la actividad de movimiento.	85
Grafica 8. Unidades geológicas aflorantes en la Plancha 343-Silvia.	86
Gráfica 9. Distribución de la cobertura de suelo en las áreas con movimiento en masa.	87
Gráfica 10. Distribución del uso de suelo en las áreas con movimientos en masa.	87
Gráfica 11. Erosión activa en el área de influencia de los movimientos en masa. .	88
Grafica 12. Distribución del grado de intensidad de erosión.	88

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rangos de Intervalos de altura o relieve relativo. Tomado de SGC, 2012.	26
Tabla 2. Rangos de inclinación de la ladera. Tomado de SGC, 2012.....	26
Tabla 3. Rango de longitud de la ladera. Tomado de SGC, 2012.....	27
Tabla 4. Rangos de forma de la ladera. Tomado de SGC, 2012.	28
Tabla 5. Forma de cretas y valles. Tomado de SGC, 2012.	29
Tabla 6. Base de datos generada a partir de los movimientos en masa reportados en campo para la plancha 343-Silvia.	71
Tabla 7. Cuadro de las Unidades geomorfológicas definidas en la plancha 343- Silvia, con sus respectivas áreas y porcentajes.....	91

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Mapa de unidades y subunidades geomorfológicas de la plancha 343-Silvia departamento del Cauca escala 1:100.000.....	138
Anexo B. Mapa de recorrido de campo y puntos simma de la plancha 343-Silvia.	139

RESUMEN

TITULO: CONTRIBUCIÓN A LOS ESTUDIOS DE GEOMORFOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA RELATIVA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA PLANCHA 343 (ESCALA 1:100.000); SECTOR CENTRAL DEL MACIZO COLOMBIANO, DEPARTAMENTO DEL CAUCA*.

AUTOR: OSCAR EDUARDO ROMERO GONZALEZ**.

PALABRAS CLAVES: Geomorfología, Morfodinámica, Morfogénesis, Movimiento en Masa, Macizo Colombiano.

El estudio geomorfológico a escala 1:100.000 en la zona de la plancha 343-Silvia ha permitido identificar unidades morfogenéticas denudacionales, estructurales, glaciales, volcánicas y fluviales a partir de formas del terreno resultado de eventos sucesivos en el tiempo; también causas y procesos que dieron origen al paisaje. En el sur de la Cordillera Central el relieve es modelado por procesos orogénicos y eventos volcánicos, con plegamientos asociados localmente con fuerte metamorfismo e intrusiones graníticas modelando unidades estructurales y volcánicas. El levantamiento de la cordillera central favoreció la cobertura de hielos glaciares, que posteriormente a su deshielo determinaron la generación de geoformas glaciales. Procesos exógenos de erosión y meteorización definen zonas de pendiente suave tallando unidades denudacionales. El área está surcada por una densa red hídrica representada por unidades geomorfológicas fluviales. Las unidades geomorfológicas se definen según el Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC (2013).

La localización de la distribución en el espacio y el tiempo al igual que la caracterización de los diferentes tipos de movimientos en masa en el territorio, resulta ser un insumo de gran importancia en la identificación tanto de la susceptibilidad del terreno como en el conocimiento de la amenaza de este tipo de fenómenos y el nivel de incidencia en el medio humano (daños en la infraestructura y la propiedad, afectación económica y social, pérdida de vidas).

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez, Doctor en Geología

ABSTRACT

TITLE: CONTRIBUTION TO THE STUDY OF GEOMORPHOLOGY THREAT TO THE ZONING BY MOVING MASS ON THE PLATE 343 (1:100,000 SCALE), CENTRAL SECTOR COLOMBIAN MASSIF, DEPARTMENT CAUCA*.

AUTHOR: OSCAR EDUARDO ROMERO GONZALEZ**

KEYWORDS: Geomorphology, Morphodynamic, Morphogenesis, Mass Movements, Colombian Massif.

The geomorphological study to 1:100000 scale in the zone of the plate 343-Silvia has allowed to identify denudation, structural, glacial, volcanic and fluvial units morphogenetic from forms of the land result of successive events in the time; also causes and processes that gave origin to the landscape. In the south of the Central Mountain range the relief is modeled by orogenic processes and volcanic events, with foldings associate locally with strong metamorphism and granitic intrusions modeling structural and volcanic units. The uplift of the central mountain range favored glacier ice coverage, that later to their thawing determined the generation of glacial landforms. Exogenous processes of erosion and weathering defined gentle slope zones carving denudation units. The area is crossed by a dense water network represented by fluvial geomorphic units. The geomorphological units are defined by the Glossary of Geomorphic Units and Subunits SGC (2013).

The location of the distribution in space and time as well as the characterization of the different types of mass movements in the territory, turns out to be an input of great importance in the identification of both the susceptibility of the terrain as in the knowledge of the threat of such phenomena and the level of impact on the human environment (damage to infrastructure and property, economic and social affectation, loss of life).

* Graduate Project

** Faculty of Physicochemical Engineerings, School of Geology, UIS. Director: PhD. Juan Diego Colegial Gutiérrez.

INTRODUCCIÓN

La geomorfología aplicada es una herramienta estratégica para la evaluación y proyección del comportamiento del terreno ya que está enfocada hacia la clasificación del relieve para lograr la agrupación de los materiales naturales (rocas y suelos).

El presente trabajo de grado se desarrolla bajo la modalidad de pasantía de investigación; Ésta comprende el diseño y ejecución de un plan que busca aportar soluciones a problemas teóricos o prácticos, vigentes en el entorno local, regional o nacional; adecuar y apropiar tecnologías; replicar y validar conocimientos producidos en otros contextos; generar innovación o realizar el estudio y el análisis teórico de un problema mediante un trabajo monográfico.

Los movimientos en masa son unos de los procesos geológicos más destructivos y que producen hoy en día muchas pérdidas económicas, obligan a emigrar sociedades completas, afectan actividades económicas, entornos ambientales y causan la muerte a muchas personas. Estos tipos de fenómenos, por sus recurrencias relativamente cortas, generan más daños que cualquier otro tipo de desastre natural como por ejemplo los tifones, los huracanes, inundaciones o terremotos (Guzzeti *et al.*, 1999 en SGC, 2013a).

Los daños generados por los diferentes tipos de procesos de movimientos en masa han crecido rápidamente en las últimas décadas, debido a algunas condiciones como el aumento en la población, el cambio climático, la constante pérdida de cobertura vegetal y la sobreexplotación de la tierra. Estas condiciones aumentan la vulnerabilidad de ciertas zonas.

Como parte de las estrategias en la gestión del riesgo de desastres de origen natural en lo correspondiente a la prevención, se realizan mapas para identificar la amenaza por movimientos en masa utilizando diferentes metodologías y con el propósito de diferenciar y priorizar áreas desde las más críticas hasta las más estables frente al fenómeno en cuestión.

El presente trabajo produce resultados intermedios requeridos en un proceso de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa en la plancha 343-Silvia escala 1:100.000, y se estructura a partir de la metodología suministrada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2013a). Para dicha zonificación es necesario el uso de mapas geomorfológicos, que se fundamentan en criterios genéticos, morfológicos, geométricos y procesos morfodinámicos cartografiados.

El producto final de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa es la elaboración de un mapa a escala 1:100.000 que identificará las áreas o zonas en que potencialmente se podría dar un proceso de movimientos en masa y que tengan impacto en la infraestructura y el desarrollo regional. El mapa mencionado con su respectivo informe servirá como punto de partida para estudios posteriores y de mayor detalle con el fin de seguir y monitorear los procesos morfodinámicos propios de la zona de estudio.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los daños generados por procesos de movimientos en masa se pueden evitar o mitigar, siempre y cuando se cuente con instrumentos de planificación y sistemas de alerta temprana debidamente acompañada de planes de mitigación, con el fin de evitar grandes daños al ecosistema circundante y prevenir la pérdida de vidas humanas. Por tal motivo las instituciones de planeación y gobierno buscan prevenir, evitar y disminuir al máximo los efectos secundarios que éstos procesos puedan generar.

Los movimientos en masa son el producto de la interacción de factores intrínsecos del terreno predispuestos a una situación de inestabilidad y factores extrínsecos o desencadenantes que son los responsables de la detonación de los procesos de los movimientos en masa.

La mayoría de los movimientos en masa se generan en temporadas invernales, y ocasionan daños en bancas de carreteras, obstrucción en las vías y provocan impacto económico y social en las comunidades donde ocurre. Estos fenómenos también se presentan en asentamientos urbanos, la mayoría en zonas subnormales, ocasionando algunas veces pérdidas humanas. Eventos naturales de tipo sísmico, procesos derivados de la actividad de los volcanes del Huila y Puracé, fenómenos de transporte en masa e inundaciones, se cuentan entre las principales amenazas de tipo geológico e hidrológico que pueden afectar por sectores el área de la Plancha 343-Silvia.

La disponibilidad de información y el mayor conocimiento sobre la ocurrencia de estos fenómenos y sus respectivas consecuencias permitirá evitar o mitigar los daños que puedan generar estos eventos en las zonas de influencia. Por la importancia que lleva consigo el conocimiento de los sectores del área de estudio que se encuentran con mayor riesgo ante una próxima ola invernal de magnitudes considerables, evento sísmico o volcánico; nace la necesidad de evaluar y delimitar dichas zonas, por medio de la geomorfología de campo, para finalmente plasmarlo en un mapa, buscando que sea de utilidad en el momento de prevenir daños y asegurar una mayor tranquilidad para las comunidades presentes.

2 JUSTIFICACIÓN

Como un proyecto a nivel nacional, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) lleva a cabo en conjunto con las universidades que cuentan con el programa de geología e ingeniería geológica, una zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa en escala 1:100.000, con sus respectivas memorias. En el caso de la UIS, la Escuela de Geología ha firmado el Convenio 009/13 con el Servicio Geológico Colombiano, para realizar este proyecto en 20 planchas discriminadas así: 10 en el denominado “BLOQUE 4”, en parte de los departamentos de Tolima, Huila y Cauca (281, 282, 283, 301, 302, 322, 323, 343, 345 y 364) y 10 planchas en el denominado “BLOQUE 5” en los departamentos de Santander, Norte de Santander, Boyacá, Antioquia, Arauca y Casanare (109, 110, 111, 119, 121, 133, 134, 136, 137, 153).

La información generada en escala 1:100.000 servirá de base para futuros estudios detallados para la planeación de proyectos de infraestructura y desarrollo regional. El levantamiento y registro de movimientos en masa (SIMMA) enriquecerá la base de datos a nivel nacional para el seguimiento y monitoreo de los deslizamientos que tienen impacto en la población y vías de acceso en la zona objeto de este estudio.

En el área de interés, los estudios sobre procesos de movimientos en masa y estudios geomorfológicos son escasos y algunas veces no hay información histórica de procesos morfodinámicos que actuaron en la zona. Debido a esto y teniendo en cuenta la importancia de una zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa, se procede a caracterizar esta zona desde el punto de vista geológico, geomorfológico y a evaluar la amenaza geológica mediante la identificación de sectores o lugares susceptibles a procesos de movimientos en masa.

La morfogénesis del área de estudio contribuirá a mirar que estructuras predominan y las geoformas que se encuentran asociadas, con esto podremos observar que tipos de movimientos prevalecen en cada geoforma y los ambientes presentes.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Generar la cartografía del componente morfogénico e Información alfanumérica de apoyo a los estudios de geomorfología que se requiere para la zonificación de amenaza relativa por movimientos en masa en la plancha 343-Silvia (Escala 1:100.000).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Inventariar, clasificar y caracterizar al menos 30 fenómenos de movimientos en masa a partir de los formatos del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), en la plancha 343-Silvia, en el Macizo Colombiano, departamento del Cauca.
- Clasificar y registrar información como inventario y catálogo en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), en la web del Servicio Geológico Colombiano.
- Definir y establecer los diferentes ambientes morfogénicos presentes en la zona de estudio en función de sus rasgos y características morfológicas.
- Apoyar la obtención de coberturas de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:100.000 de la plancha 343-Silvia.
- Cartografiar procesos morfodinámicos y morfogénicos en el área de estudio, plancha 343-Silvia.

4 MARCO CONCEPTUAL

La Geomorfología es la ciencia que trata la descripción y el estudio de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y recientes de terreno (tanto terrestres como submarinas) y su relación con las estructuras infrayacentes. Esta ciencia está enfocada al análisis de la superficie de la tierra en donde interactúan la litosfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera (Carvajal, 2008).

Esta ciencia involucra y relaciona al paisaje con los procesos que le dieron origen y sus condiciones ambientales. Según esto, la interpretación de la geomorfología tiene por finalidad la descripción de las formas del terreno, y la explicación de su génesis (origen), evolución a través del tiempo geológico, la definición de la naturaleza de los materiales, la clasificación de los paisajes según el proceso o agente natural dominante, composición, edad, y la explicación de la magnitud de los agentes y procesos geomorfológicos modeladores.

Para llevar a cabo la cartografía geomorfológica se siguieron determinados parámetros para la obtención de información que conllevaron a la generación del mapa geomorfológico a escala 1:100.000. Para tal fin, en el presente informe se siguieron los lineamientos presentes en: “Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa, escala 1:100000. Versión 2” (SGC, 2013a), y “Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza, escala 1:100.000” (SGC, 2012).

Para la clasificación de los aspectos geomorfológicos y morfodinámicos así como para la representación cartográfica de los mapas geomorfológicos principalmente en cuanto a símbolos, convenciones y colores, se utilizaron las pautas de uso internacional basadas en la metodología del Sistema para el Levantamiento Geomorfológico del ITC (Verstappen & van Zuidam, 1991). En cuanto a las características de las unidades se usó el Anexo A: Glosario de Unidades y

Subunidades Geomorfológicas Versión 2 SGC (2013b). Las unidades ladera estructural, ladera contrapendiente y ladera erosiva están definidas en la versión 3 de este glosario.

4.1 MORFOGÉNESIS

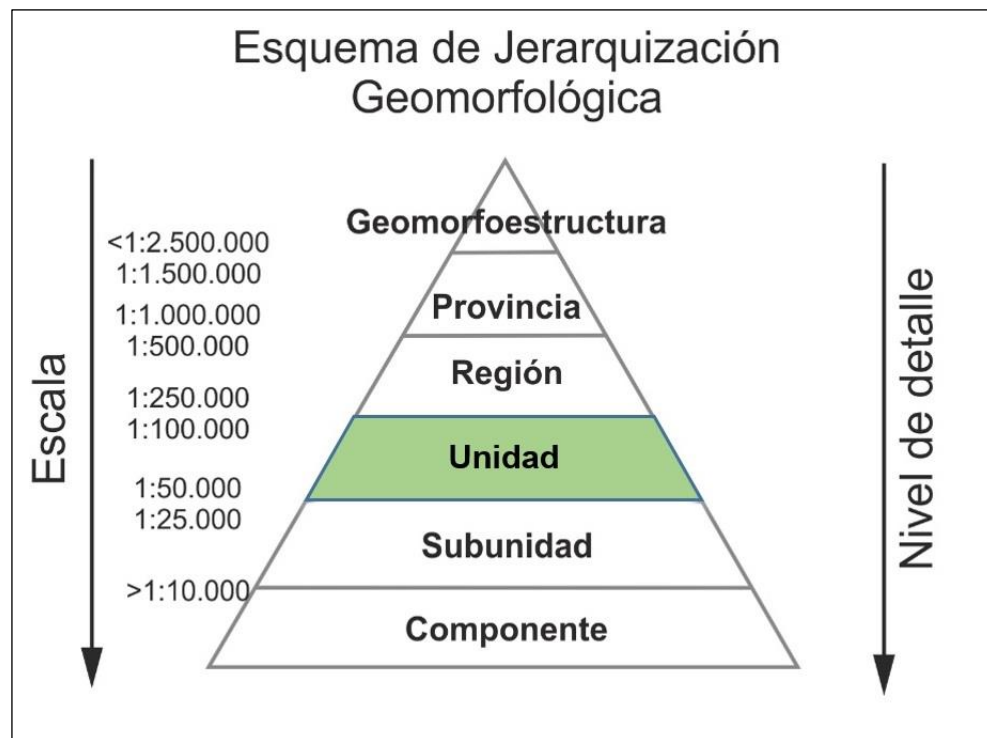
Implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno. La información morfogenética es representada en forma de unidades geomorfológicas si los procesos concernientes son de tamaño cartografiable a una escala de mapeo dado, y mediante símbolos lineales si las formas son demasiado pequeñas o no son consideradas lo suficientemente importantes para ser una unidad (de mapeo) geomorfológica.

Carvajal (2008), plantea enfocar el análisis geomorfológico de un sitio o lugar, siguiendo un proceso analítico del terreno desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local. Para tal efecto desarrolla una propuesta de jerarquización geomorfológica, en la cual relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, y el detalle basado en los ambientes morfogenéticos, expresión morfológica, litología y procesos morfodinámicos (Figura 1).

Unidades geomorfológicas (Escala 1:50.000 a 1:100.000): definidas como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico constructivo o destructivo de un ambiente geomorfológico particular. Corresponde a los elementos básicos que componen un paisaje o modelo geomorfológico, los cuales están definidos con criterios genéticos,

morfológicos y geométricos en función de la escala del proceso natural que lo conformó (SGC, 2012).

Figura 1. Esquema modificado de jerarquización geomorfológica (Modificado de SGC, 2012).



El análisis se fundamenta básicamente en la génesis geológica de las geoformas individuales genéticamente homogéneas y ambiente morfodinámico dominante formadas en un ambiente geomorfológico particular.

Ambiente morfoestructural: corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos. Incluye el ambiente neotectónico (Geoformas originadas por la actividad tectónica activa y que se ha prolongado durante el Cuaternario). El color utilizado en la cartografía para los paisajes de este ambiente es púrpura.

Ambiente volcánico: asociado en las regiones donde predominan los procesos que generan geoformas volcánicas por la extrusión de materiales fundidos

procedentes del interior de la tierra. El color para la cartografía de este tipo de ambiente natural es el rojo.

Ambiente denudacional: determinado por la actividad de procesos de meteorización, y predominantemente de procesos erosivos hídricos y de fenómenos de transposición o de movimientos en masa actuantes sobre geoformas pre-existentes. Se identifica con color marrón en la cartografía.

Ambiente fluvial: corresponde a las geoformas generadas por los procesos relacionados con la actividad fluvial. Se identifica con color azul en la cartografía.

Ambiente glaciar: definido por las geoformas originadas por la acción glacial, tanto de los casquetes polares, como en altas montañas. Color de la simbología para la cartografía de este tipo de ambiente natural es el gris.

A continuación se describen algunos conceptos necesarios para la recolección de datos para cartografía geomorfológica contenidos en el formato mostrado en la figura 9 y definidos en SGC, 2012.

Contraste de relieve o relieve relativo: (índice de relieve) Hace referencia a la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja de ésta, independiente de la altura absoluta o el nivel del mar. Es un atributo que indica la energía potencial de un sistema de drenaje y los materiales constitutivos de la geoforma (Tabla 1).

Inclinación de la ladera: Es el ángulo que forma una ladera o terreno respecto a un plano horizontal. La inclinación de la ladera está relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de movimientos en masa (Tabla 2)

Tabla 1. Rangos de Intervalos de altura o relieve relativo. Tomado de SGC, 2012.

	DESCRIPCION DEL RELIEVE	RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL
< 50m	Muy bajo.	Materiales muy blandos y erosionables.
50 – 250 m	Bajo.	Blando erosionable.
250 – 500 m	Moderado.	Moderadamente blando y erosión alta.
500 – 1000 m	Alto.	Resistente y erosión moderada.
1000 – 2500 m	Muy alto.	Muy resistente y erosión baja.
> 2500 m	Extremadamente alto.	Extremadamente resistente y erosión muy baja.

Tabla 2. Rangos de inclinación de la ladera. Tomado de SGC, 2012.

INCLINACION (Grados)	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y COMPORTAMIENTO
< 5	Plana a suavemente inclinada.	Muy blanda y muy baja susceptibilidad a movimientos en masa (MM).
6 – 10	Inclinada.	Blanda y baja MM.
11 – 15	Muy Inclinada.	Moderadamente Blanda y Moderada susceptibilidad a MM.
16 – 20	Abrupta.	Moderadamente Resistente y Moderada susceptibilidad a MM.
21 – 30	Muy abrupta.	Resistente y Alta susceptibilidad a MM.
31 - 45	Escarpada.	Muy Resistente y Alta susceptibilidad a MM.
> 45	Muy Escarpada.	Extremadamente Resistente, baja susceptibilidad a MM.

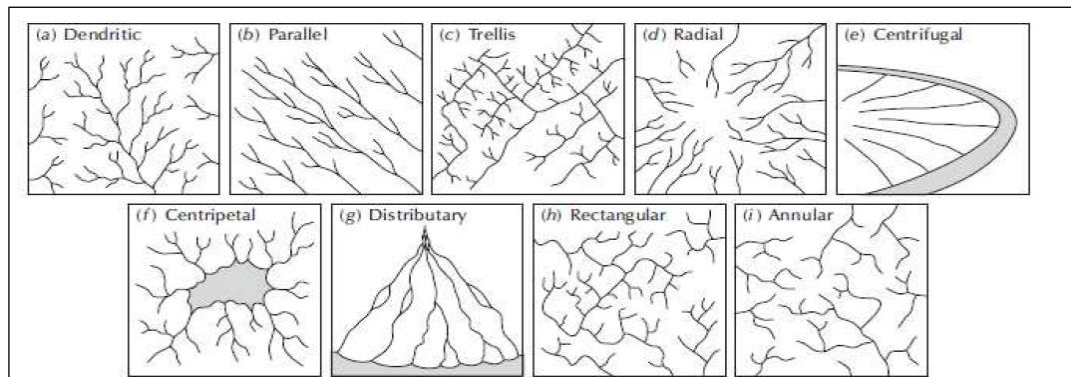
Longitud de la ladera: es un indicador de la homogeneidad del material constitutivo de las geoformas; puede determinar una mayor superficie para el desarrollo de los procesos morfodinámicos (Tabla 3).

Tabla 3. Rango de longitud de la ladera. Tomado de SGC, 2012.

LONGITUD (metros)	DESCRIPCION
< 50m	Muy corta.
50 – 250 m	Corta.
250 – 500 m	Moderadamente larga.
500 – 1000 m	Larga.
1000 – 2500 m	Muy larga.
> 2500 m	Extremadamente larga.

Patrón de drenaje: Es la distribución de todos los canales de drenajes superficiales en un área que esté ocupada o no por aguas permanentes (Figura 2). El patrón de drenaje está controlado por la inclinación del terreno, tipo y estructura geológica de la roca subyacente, densidad de vegetación y las condiciones climáticas.

Figura 2. Patrón de drenaje controlado por estructura o pendiente (SGC, 2012.).



Forma de la ladera: Refleja la homogeneidad en la resistencia de los materiales, y la presencia o control de estructuras geológicas. También condiciona los tipos de movimientos en masa que pueden desarrollarse en una ladera. Es común relacionar movimientos rotacionales a pendientes cóncavas y convexas y movimientos planares a pendientes rectas controladas estructuralmente o movimientos complejos a pendientes irregulares (Tabla 4).

Tabla 4. Rangos de forma de la ladera. Tomado de SGC, 2012.

CLASE	CARACTERISTICAS MATERIAL	MOVIMIENTOS EN MASA ASOCIADOS
RECTA	Alta resistencia y disposición estructural a favor de la pendiente.	Movimiento Traslacional.
CONCAVA	Material blando y disposición estructural no diferenciado.	Deslizamiento Rotacional.
CONVEXA	Materiales blandos y disposición estructural casi horizontal.	Predomina Meteorización y Erosión. Pequeños Deslizamientos Rotacionales.
IRREGULAR O ESCALONADA	Materiales con resistencia variada. Disposición estructural en contra de la pendiente.	Caída de Bloques. Erosión Diferencial.
COMPLEJA	Mezcla de materiales. Disposición estructural no definida.	Deslizamientos Complejos

Forma de crestas y valles. Las divergencias entre las formas características que presenta el relieve se considera como un parámetro de agrupamiento establecido en la apariencia superficial de la geoforma. Crestas agudas de cimas bien definidas con laderas de pendientes abruptas, contrastan con cimas anchas de laderas de pendiente inclinada; conjuntamente la presencia de valles con una forma definida y crestas alineadas que describen una orientación típica, sugieren un tipo de control estructural o de competencia de los materiales que recubren la geoforma. La forma de las crestas y los valles que se ilustran en la tabla 5 adquiere relevancia en las observaciones realizadas en campo para la caracterización de unidades geomorfológicas a escalas medias y detalladas.

Morfoestructural y Litología: indica el modelaje del relieve, según composición, disposición y dinámica interna de la tierra. La morfoestructura incide en el modelaje del paisaje según: Condición pasiva que analiza las formas resultantes de los procesos o deformaciones tectónicas (activas o inactivas) expresadas en el relieve de la superficie terrestre, con dimensiones y configuraciones variables; y la

condición activa que corresponde a los procesos morfogenéticos endógenos asociados tanto a la deformación y al fracturamiento tectónico como al vulcanismo que determina geoformas de configuraciones y dimensiones variables.

Tabla 5. Forma de crestas y valles. Tomado de SGC, 2012.



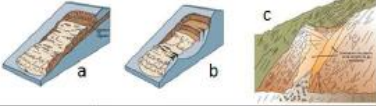

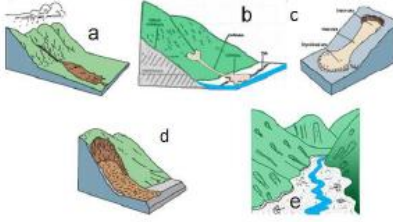

FORMA DE CRESTA	FORMA DE VALLE
Aguda	Artesa
Redondeada	Forma de V
Convexa amplia	Forma de U
Convexa plana	
Plana	
Plana disectada	

4.2 MORFODINÁMICA

La morfodinámica es la parte de la geomorfología que trata de los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos), tanto antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas o Unidades de terreno (SGC, 2012).

La caracterización morfodinámica permite identificar y definir la evolución de los procesos denudativos (erosión y movimientos en masa), que han ocurrido en un área determinada y permiten dilucidar el futuro, particularmente en términos de estabilidad de un terreno. En el proceso de caracterización de los movimientos en masa en la zona de estudio, se plantea el empleo de la clasificación de los movimientos en masa de la Guía para la Evaluación de Amenazas (PMA: GCA, 2007), (Figura 3). En ella se destacan los principales los movimientos de tipo caídas, volcamiento, deslizamiento de roca o suelo, propagación lateral, flujo y reptación.

Figura 3. Tipos de Movimientos en Masa, (Tomado de SGC, 2012).

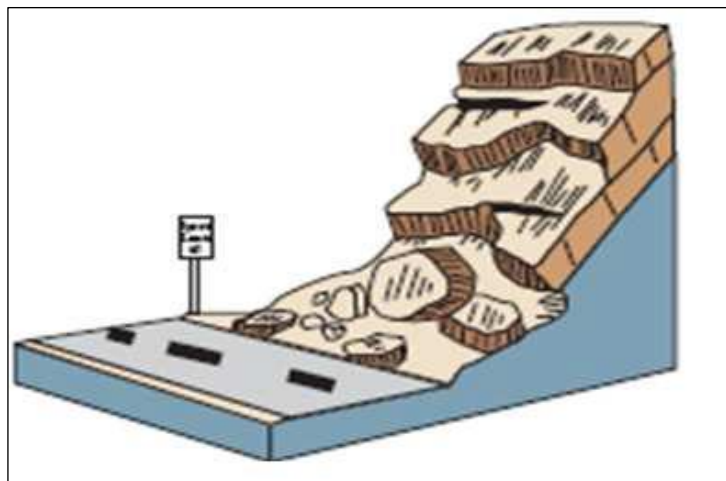
Tipo	Subtipo	Esquema
Caídas	Caída de rocas (detritos o suelo)	
Volcamiento	Volcamiento de roca (Bloque). Volcamiento Flexural de roca o del macizo rocoso	
Deslizamiento roca o suelo	Deslizamiento traslacional (a) Deslizamiento rotacional (b) Deslizamiento en cuña (c)	
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)	
Flujo	Flujo de detritos (a) Crecida de detritos Flujo de lodo (b) Flujo de tierra (c) Flujo de turba Avalancha de detritos (d) Avalancha de rocas (e) Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (arena, limo, detritos, roca fracturada)	
Reptación	Reptación de suelos (a) Solifluxión (b) Gelifluxión (en permafrost)	

La geomecánica de los deslizamientos, teniendo en cuenta el tipo de movimiento, es uno de los principales aspectos a tener en cuenta en el momento de realizar la Clasificación. Para esto se tomó en cuenta el criterio de clasificación propuesto por Cruden y Varnes (1996), el cual plantea que un movimiento en masa se puede caracterizar de acuerdo a su cinemática. Los tipos de movimientos que se pueden presentar son: caída (fall) (Figura 4), volcamiento (topple) como se observa en la figura 5, deslizamiento (slide), identificables de forma rotacional (Figura 6) y de forma Traslacional (Figura 7), flujo (flow) como se observa en la figura 8, y otros como Propagación Lateral, Reptación y Deformación gravitacional profundas. Estos tipos de movimiento no necesariamente ocurren en forma independiente ya que en muchos eventos pueden encontrarse dos o más diferentes tipos ocurriendo sucesiva o simultáneamente.

Caída. La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s. Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento. Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta (Figura 4).

Figura 4. Caídas de roca, (Tomado de SGC, 2012).



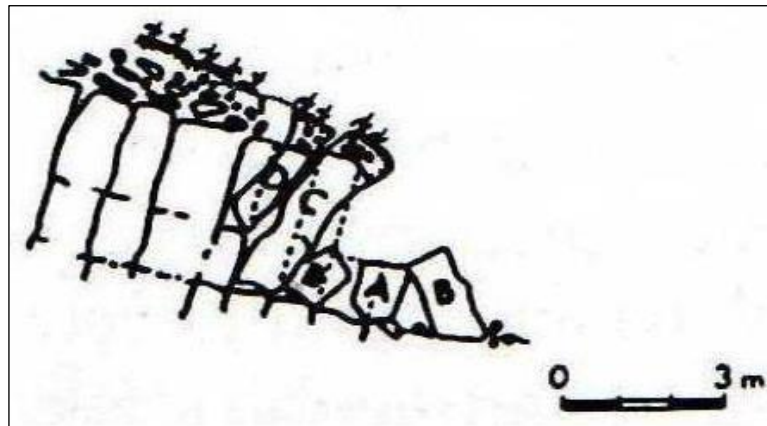
Volcamiento. Se denomina así a un tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento

ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978).

El volcamiento puede ser en bloque, flexional (o flexural) y flexional del macizo rocoso como se describe a continuación. Goodman y Bray (1976) diferencian el vuelco de bloques del vuelco flexural. El primero involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base, semejante al vuelco de libros en un estante (Figura 5).

El volcamiento de bloques es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas. El vuelco flexural, en cambio, involucra roca más frágil y densamente diaclasada; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales.

Figura 5. Esquema ilustrativo de volcamiento de bloques (Tomado y modificado de Cruden y Varnes, 1996).



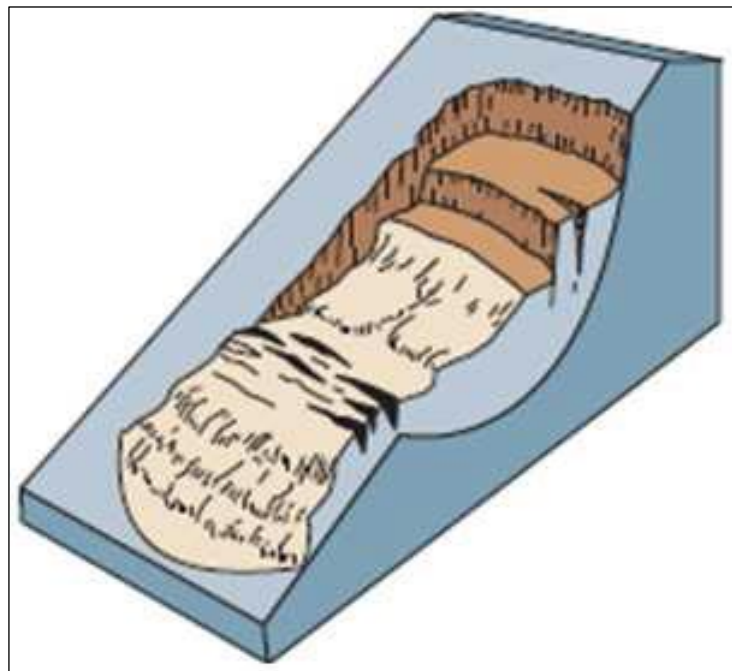
Deslizamiento. Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y

rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablará de deslizamientos compuestos (Hutchinson, 1988)

Deslizamiento Rotacional. Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca (Figura 6).

Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas (PMA: GCA, 2007).

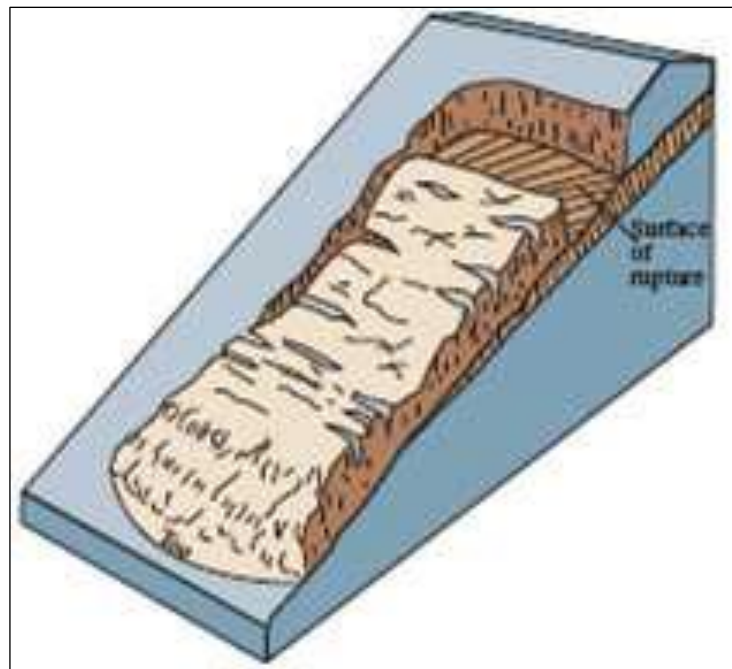
Figura 6. Esquema de un deslizamiento rotacional (Tomado de SGC, 2012).



Deslizamiento Traslacional. Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden & Varnes, 1996).

En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (según Hoek & Bray, 1981 en PMA: GCA, 2007). (Figura 7).

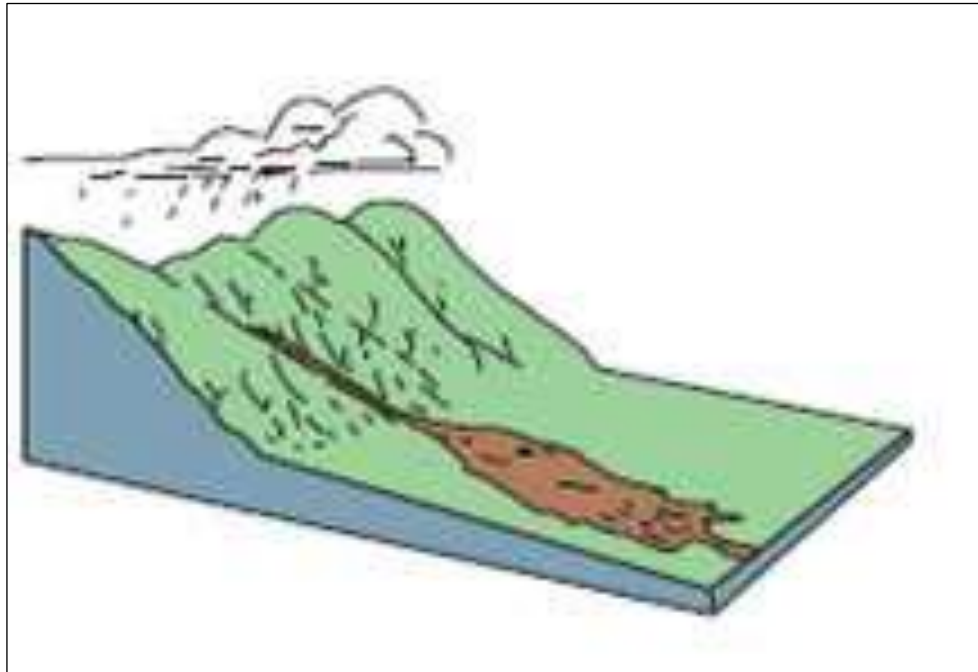
Figura 7. Deslizamiento traslacional (Tomado de SGC, 2012).



Flujo. Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Hungr *et al.*, (2001), clasifican los flujos

de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles; así mismo, aportan definiciones que enfatizan aspectos de uso práctico útiles para el estudio de amenazas. (Figura 8).

Figura 8. Flujo de detritos (Tomado de SGC, 2012).



Reptación La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo. Dentro de este movimiento se incluyen la solifluxión y la gelifluxión, este último término reservado para ambientes periglaciales. Ambos procesos son causados por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo.

5 DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología a seguir por este proyecto abarca básicamente cuatro fases: recopilación, análisis e interpretación preliminar de la información; recolección de datos en campo y verificación de la información preliminar, alimentación de la base de datos SIMMA y revisión y elaboración del informe final. En cada fase se llevan a cabo actividades de vital importancia para cumplir a cabalidad los objetivos propuestos.

Las actividades se centran en el desarrollo de la variable geomorfología, desde sus atributos de morfodinámica y morfogénesis, así como la elaboración de sus respectivos informes.

Para la Variable Morfogénesis, se tiene en cuenta la identificación de unidades geomorfológicas a partir del Glosario de unidades y subunidades Geomorfológicas del Servicio Geológico Colombiano, teniendo en cuenta esto, se genera un mapa con características detalladas de la geomorfología de la zona, y se logra determinar las posibles zonas con susceptibilidad y amenaza que se identifican a partir de las variables mencionadas.

El desarrollo de la variable morfodinámica permite identificar las zonas con movimientos en masa activos y reactivados, que no se encuentran en la base de datos del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano (SGC). La información se compila en formatos (inventario o catalogo), diseñados para clasificar y caracterizar los diferentes movimientos en masa.

Entre tanto, para la variable morfogenética, se caracterizan las diferentes geoformas integradoras del paisaje, los procesos que actuaron y que actualmente modelan la superficie terrestre y la génesis de estas expresiones morfológicas, según el ambiente de origen que corresponda a cada una de ellas y que se observen en determinada área.

Con base en la escala de trabajo, se prioriza la obtención del mapa geomorfológico analítico base, donde se destacan, la génesis y los procesos morfodinámicos prevalecientes en el área de estudio. A continuación se describe el proceso de consecución de información morfogenética y morfodinámica.

5.1 FASE I: RECOPIACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN PRELIMINAR DE LA INFORMACIÓN

En esta etapa se reúne, analiza y procesa toda la información existente del área de estudio suministrada por la respectiva corporación regional y el Servicio Geológico Colombiano (SGC). Para la consecución de posibles puntos y zonas con movimientos en masa previa a la fase de campo, se tienen en cuenta los movimientos registrados en la base de datos del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), del Servicio Geológico Colombiano (SGC); esto con el fin de no obtener información de movimientos ya registrados en dicha base. Así mismo, se analiza información proporcionada por la Corporación Regional del Cauca y registrada en los POT's y EOT's de cada uno de los municipios que abarcan la plancha 343. Movimientos en masa obtenidos mediante el análisis de imágenes satelitales del programa Google Earth también permitieron compilar información útil para la fase de campo. El análisis de toda la información adquirida permite crear un itinerario e inventario preliminar para el reconocimiento en campo de los sitios donde se podrían obtener y reportar movimientos en masa.

La recopilación de información morfogenética del área se obtiene a partir del análisis de insumos básicos como la plancha cartografía básica IGAC, mapa de pendientes, mapa de sombras y sensores remotos; e insumos temáticos como el mapa geológico. La interpretación de esta información sirve para la obtención del mapa geomorfológico preliminar que puede ser validado o modificado en la fase de campo.

5.2 FASE II: RECOLECCIÓN DE DATOS EN CAMPO Y VERIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN PRELIMINAR

La fase de campo trata de abarcar la mayor área posible de la plancha, sin embargo no se accede a las regiones donde no hay presencia de la fuerza pública por problemas de orden público y en zonas caracterizadas por pendientes abruptas y vegetación densa que hace difícil el acceso. Se realiza un recorrido estratégico del área por vías principales y secundarias, así mismo por trochas y senderos, para la toma de datos morfológicos y morfodinámicos. El recorrido tiene en cuenta el mapa geomorfológico preliminar y los movimientos en masa encontrados en la fase previa.

El control de las unidades geomorfológicas en campo se lleva a cabo buscando puntos topográficos altos, donde se puedan realizar panorámicas y observar los diferentes rasgos característicos que permitan verificar o modificar las unidades definidas en el mapa geomorfológico preliminar; así mismo incorporar unidades que no se hayan logrado definir en la fase I. La captura de datos se registra en la Tabla de Recolección de Datos de Morfometría para cartografía geomorfológica UIS (2013) presentado en la figura 9. Así mismo, este formato tiene un espacio para realizar el esquema de planta y de perfil que permite señalar características propias de las geoformas que llevan a definir la unidad geomorfológica.

La información de los movimientos en masa activos encontrados en la zona de estudio se registran en el Formato modificado para inventario de movimientos en masa Versión 2012 (SGC, 2013a), que se muestra en la figura 10 y 11. Los movimientos con dimensiones que superan los 200x200 metros son cartografiables en la escala de trabajo como un polígono y denominados con una unidad morfogenética denudacional correspondiente, los movimientos con dimensiones inferiores, pero que superen los 50x50 metros en vista de planta son ingresados al SIMMA como captura de inventario ya que a la escala de trabajo en el plano representan un punto y no es posible cartografiarlo como un polígono en el mapa de unidades geomorfológicas.

Figura 9. Formato de recolección de datos para Cartografía Geomorfológica (UIS, 2013).

Fecha:		D	M	A	Plancha: _____		Estación: _____					
Lugar		Posición Geográfica			Referente Geográfico:							
Departamento: _____		X: _____										
Municipio: _____		Y: _____										
Vereda: _____		Z: _____										
Sitio: _____		Proyección Magna: _____										
Morfogénesis		Tipo de Relieve			Índice de Relieve		Inclinación de Ladera		Longitud de la ladera		Forma de la Ladera	
Morfotectónica		Montañoso > de 400 m		Muy Bajo (< 50 m)		Plana a Surve < 5°		Muy Corta (< 50 m)		Rectilínea		
Volcánico		Colina 200 - 400 m		Bajo (50 - 250 m)		Inclinada (6° - 10°)		Corta (50 - 250 m)		Cóncava		
Denudacional		Loma 50 - 200 m		Moderado (250 - 500 m)		Muy Inclinada (11° - 15°)		Moderadamente Larga (250 - 500 m)		Convexa		
Fluvial - Deltaico - Lagun		Montículo < 50 m		Alto (500 - 1000 m)		Abrupta (16° - 20°)		Larga (500 - 1000 m)		Irregular		
Marino - Costero				Muy Alto (> 1000 m)		Muy Abrupta (21° - 30°)		Muy Larga (1000 - 2500 m)		Compleja		
Glaciar						Escarpada (31° - 45°)		Extremadamente Larga (> 2500 m)				
Eólico						Muy Escarpada (> 45°)						
Kárstico												
Antropogenico / Biológico												
Características de Drenaje												
Forma de Canal		Densidad de Drenaje		Frecuencia de Drenaje		Textura de Drenaje		Patrón de Drenaje		Tipo de Roca		
En U Abierto		Baja (< 0,5 Km/Km2)		Muy Alta (> 40)		Gruesa		Detritico		Ígnea Ácida		
En U Cerrado		Moderada (0,5 - 1,0)		Alta (20 - 40)		Mediana		Subdetritico		Ígnea Intermedia		
En V Abierto		Alta (> 1,0)		Media (10 - 20)		Fina		Paralelo		Ígnea Básica		
En V Cerrado				Baja (5 - 10)		Muy Fina		Subparalelo		Ígnea Ultrabásica		
				Muy Baja (> 5)				Pinado		Volcánica Piroclástica		
								Rectangular		Sedimentaria Cementada		
								Radial		Sedimentaria Consolidada		
								Anular		Sedimentaria Química		
								Multicuencas		Metamórfica Masiva		
								Contorsionado		Metamórfica Bandada		
								Otro: _____		Metamórfica Bien Foljada		
Grado de Meteorización		Movimiento en Masa				Estado						
Fresca		Tipo de Movimiento		Tipo de Material		Activo						
Meteorización Débil		Caída		Roca		Inactivo						
Meteorización Moderada		Volcamiento		Detritos		Suspendido						
Meteorización Alta		Deslizamiento Rotacional		Suelo		Reactivo						
Descompuesta		Deslizamiento Translacional		Lodos								
		Reptación		Turba								
		Flujos										
		Propagación Lateral										
		Avalancha										
		Compuesto o Múltiple										
Tipo de Material		Tipo de Erosión		Espaciamiento de Canales (m)		Notas:				Fotos:		
Saprolito Grueso		Laminar		< 5								
Saprolito Fino		Surcos		5 - 15								
		Barrancos		15 - 50								
		Cárcavas		50 - 150								
		Socavación		150 - 500								
		Tierras Malas		> 500								
		Terracetos										
		Eólica										
		Glaciar										
		Cárstica										
		Marina										
				Intensidad de Erosión								
				Suave								
				Moderada								
				Severa								
Aluvial												
Lagunar												
Deltaico												
Eólico												
Glaciar												
Volcánico												
Residual												
Coluvial												
Flujo de Lodo												
Talus												
Bloques												
Conos de Deyección												
Otro: _____												

Figura 10. Formato Modificado para inventario de Movimientos en Masa Vs 2012 (SGC, 2013a). Página 1.

FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012										IMPORTANCIA*						
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas										Alta	Media	Baja				
DATOS DE REGISTRO																
ENCUESTADOR*		FECHA EVENTO*			FECHA REPORTE*			INSTITUCIÓN*								
		DD	MM	AA	DD	MM	AA									
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA						DOCUMENTACIÓN										
POR DIVISION POLITICA		COORDENADAS GEOGRAFICAS			REFERENTES GEOGRAFICOS			PLANCHAS			FOTOGRAFIAS AEREAS					
Departamento*		Sitio*						PLANCHAS	AÑO	ESCALA	EDITOR	Nro Vuelo	Nro Foto	Año	Escala	Editor
Municipio*		Lat (GMS)*														
Vereda*		Long (GMS)*														
		Altura*														
		Proyeccion: Magna *														
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				DESCRIPCIÓN				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA								
EDAD	ESTADO	ESTILO	DISTRIBUCIÓN					ESTRUCTURA		ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO (m)				
< 1 año	Activo	Complejo	Retrogresivo					Estructura		DR		BZ				
1-5 años	Reactivado	Compuesto	Avanzado					Planos de		>2		2-0.6				
6-10 años	Suspendido	Múltiple	Ensançado					Estratificación		0.6-0.2		0.2-0.06				
11-15 años	INACTIVO	Sucesivo	Confinado					Foliación		0.2-0.06		<-0.06				
16-20 años	Latente	Único	Crecente					Diaclasis								
	Abandonado		Decreciente					Falla								
	Estabilizado		Móvil					Discordancia								
	Relicto							Esquistosidad								
				Nota: Incluir mínimo origen de la roca, (I, M ó S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos				NOTA: DR: Dirección de buzamiento. BZ: Buzamiento								
TIPO MOVIMIENTO		CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO				TIPO MATERIAL		HUMEDAD		PLASTICIDAD						
Caida	1 2	Caida de roca	1 2	Desliz. traslacional	1 2	Desliz. por flujo	1 2	Roca	1 2	Mojado	1 2					
Volcamiento		Caida de detritos		Desliz. en cuña		Avalancha de detritos		Detritos		Muy húmedo						
Deslizamiento		Caida de tierras		Desliz. traslacional en cuña		Flujo de tierra		Tierra		Húmedo						
Flujo		Volcam. flexural de roca		Desliz. traslacional planar		Creceda de detritos		Lodos		Liger. húmedo						
Propagación Lateral		Volcam. de roca		Avalancha de rocas		Flujo de turba		Turba		Seco						
Reptación		Volcam. macizo rocoso		Flujo de detritos		Desliz. licuación de arena		NOTA: 1: Primer movimiento, 2: Segundo Movimiento								
Deform. Gravit. Profundas		Desliz. rotacional		Flujo de lodo		Desliz. licuación de limo										
ORIGEN SUELO		TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario)				VELOCIDAD		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*								
Residual	Coluvial	Aluvial	Lacustre	Extr. rápido (>5 m/s)	Moderado (>13 m/mes)	Extr. Lento (<16 mm/año)	Hutchinson, 1988									
Sedimentario	Volcánico	Eólico	Marino	Muy rápido (>3 m/min)	Lento (>1.6 m/año)		Varnes, 1978									
		Glacial		Rápido (>1.8 m/hr)	Muy lento (>16 mm/año)		Cruden y Varnes, 1996									
							Hung et al., 2001									
GENERAL		DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN TERRENO		GEOFORMA								
Diferencia de altura corona a punta (m)		Ancho de la masa desplazada Wd (m)		Volumen inicial (m3)		MODO										
Longitud horizontal corona a punta (m)		Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)		Volumen desplazado (m3)		Ondulación										
Fahrböschung (grados)		Longitud de la masa desplazada Ld (m)		Área inicial (Km2)		Escalonamiento										
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)		Longitud de superficie de ruptura Lr (m)		Área total afectada (Km2)		SEVERIDAD										
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)		Espesor de la masa desplazada Dd (m)		Run up (m)		Leve										
Dirección del movimiento (grados)		Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)		Distancia de viaje (Km)		Media										
Azimet del talud (grados)		Longitud total L (m)				Severa										
CAUSAS DEL MOVIMIENTO																
INHERENTES				CONTRIBUYENTES - DETONANTES												
Material plástico débil		Material fisurado y agrietado		Movimiento tectónico	C D	Desembalse rápido de presas	C D	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje	C D							
Material sensible		Orientación desfav. de discontinuidades		Sismo M ___ E ___ De ___ P ___		Erosión pata del talud por glaciares		Escapes de agua de tuberías								
Material colapsible		Contraste de permeabilidad de materiales		Erupción volcánica		Socavación pata del talud por corriente agua		Deforestación o ausencia de vegetación								
Material meteor. fisicamente		Contraste de rigidez de materiales		Lluvias (mm) 24h ___ 48h ___ 72h ___ Mes ___		Socavación pata del talud por oleaje		Minería								
Material meteor. quimicamente		Meteoriz. por descongelamiento/deshielo		Viento		Socavación de margenes de rios		Disposición deficiente de estériles/escombros								
Material fallado por corte		Meteoriz. por expansión/contracción		Deshielo		Erosión Pluvial		Vibración artificial (trafico, explosiones, hincado pilotes)								
				Avance/Retroceso de glaciales		Carga en la corona del talud		Erosión Fluvial								
				Rompimiento de lagos en crateres		Erosión subterránea (disolución, tubificación)										
				Rompimiento de presas		Irrigación										
										NOTAS: C: Condicionante, D: Detonante, I: Inherente 24h(mm); Lluvia acumulada antes del movimiento M: Magnitud, E: Escala						
SUPERFICIAL		SUBSUPERFICIAL		TIPO DE EROSIÓN		ESTADO		FLUVIAL		EOLICA						
Tierras malas	Surcos	Laminar	Cavernas	EDAD	Antigua	Baja	Severa	Socav. fondo	Si							
Carcavas	Hondonadas		Tubificación	Reciente		Moderada		Socav. lateral	No							
COBERTURA Y USO DEL SUELO				REFERENCIAS												
COBERTURA DEL SUELO		USO DEL SUELO		AUTOR		AÑO		TITULO		EDITOR		CIUDAD		PAGINAS		
Veget. Herbácea	___%	Cultivos	___%	Ganadería	___%	Área protegida	___%									
Bosque/Selva	___%	Construcciones	___%	Agrícola	___%	Vías	___%									
Matorrales	___%	Pastos	___%	Recreación	___%	Zona arqueológica	___%									
Cuerpo de agua	___%	Sin cobertura	___%	Vivienda	___%	Zona Industrial	___%									
				Minería	___%	Sin uso	___%									

Figura 11. Formato Modificado para inventario de Movimientos en Masa Vs 2012 (SGC, 2013a). Página 2.

EFECTOS SECUNDARIOS											
TIPO (Costa & Schuster, 1988)		MORFOMETRIA DE LA PRESA				REPRESAMIENTO MORFOMETRIA DEL EMBALSE		CONDICIONES DE LA PRESA		OTROS EFECTOS	
I	<input type="checkbox"/>	IV	<input type="checkbox"/>	Longitud (m)	Volúmen (m ³)	Longitud (m)	Area cuenca (m ²)	Obstrucción parcial	Moderadamente socavada	Tsunami (sk. ola)	Inundacion
II	<input type="checkbox"/>	V	<input type="checkbox"/>	Altura (m)	Talud arriba (°)	Área (m ²)	Caudal entrada	Erosión de la pata	Fuertemente socavada	Empalizada	
III	<input type="checkbox"/>	VI	<input type="checkbox"/>	Ancho (m)	Talud abajo (°)	Volúmen (m ³)	Caudal salida	Estabilización artificial	Parcialmente fallada	Sedimentación	
						Nivel agua bajo corona (m)	Tasa de llenado	Ligeramente socavada	Fallada	Sismo	
DAÑOS											
POBLACION AFECTADA				INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONOMICAS, DAÑOS AMBIENTALES							
Heridos _____ Vidas _____ Desaparecidos _____ Personas _____ Familias _____				TIPO	CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DAÑO		VALOR (US\$)		
TIPO DE DAÑO: Infraestructura: edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios publicos, vía ferrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, capa asfáltica, galpones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. Económicos: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. Ambientales: parques, bosques, planta tratamiento de agua.				I E A	_____	_____	DL	DM	DS	DT	NC
				I E A	_____	_____	DL	DM	DS	DT	NC
				I E A	_____	_____	DL	DM	DS	DT	NC
				I E A	_____	_____	DL	DM	DS	DT	NC
				I E A	_____	_____	DL	DM	DS	DT	NC
NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable											
NOTAS		APRECIACIÓN DEL RIESGO				ANEXO FOTOGRAFICO					
						FECHA	FOTOGRAFIA	AUTOR/DERECHOS		OBSERVACIONES	
						_____	_____	_____	_____		
						_____	_____	_____	_____		
ESQUEMA DEL MOVIMIENTO											
PLANTA						PERFIL					

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (*) SON OBLIGATORIOS

5.3 FASE III: ALIMENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS SIMMA.

En esta fase se analizan los datos recogidos en campo de cada movimiento y se carga la información en la plataforma SIMMA (Figura12), del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Figura 12. Plataforma del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

The screenshot displays the SIMMA web application interface. At the top, there is a header with the logo of the Servicio Geológico Colombiano and the text 'SIMMA Sistema de Información de Movimientos en Masa'. Below the header, there are navigation tabs for 'Pagina Principal', 'Informenos', and 'Consultas'. The main content area is divided into two sections. On the left, there is a map of Colombia with various cities labeled, including Bogotá, Medellín, Cali, and Bogotá. On the right, there is a search and filter panel. This panel includes a 'Selecciones' section with radio buttons for 'Catalogo', 'Inventario', 'Todos', and 'Distribucion'. Below this, there are dropdown menus for 'Departamento' and 'Municipio'. The 'Tipo de Movimiento' section contains a list of movement types with radio buttons: 'Caída', 'Deformaciones gravitacionales', 'Deslizamiento', 'Flujo', 'Movimiento en Masa Catalogo', 'Propagación lateral', 'Reptación', and 'Volcamiento'. At the bottom of the filter panel, there are input fields for 'Fecha Inicial' and 'Fecha Final', along with 'Consultar' and 'Limpiar' buttons. Below the filter panel, there is a table header for 'Registros' with columns: 'Codigo', 'Fecha', 'Latitud', 'Longitud', 'Sitio', 'TipCap', and 'Movimiento'. The table currently shows a 'Select' button in the first row.

Fuente: <http://zafiro.sgc.gov.co/simma/default.aspx>.

5.4 FASE IV: REVISIÓN Y ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL

Para esta etapa se hace un análisis y discusión de la reinterpretación hecha con los datos de campo y de imágenes satelitales, elaborando el Mapa Geomorfológico final de la plancha 343-Silvia digitalizado en Arc-GIS 10.1. A partir del proceso seguido en todas las etapas de elaboración del mapa se elabora este documento, que contiene características generales del área de estudio como: geología, estratigrafía, geología estructural, climatología, características de los suelos y la descripción de las geoformas identificadas.

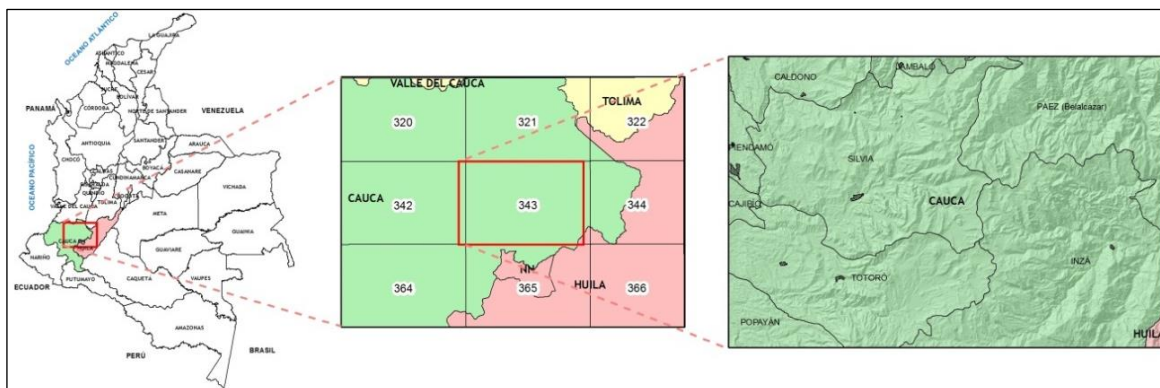
6 GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

6.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio con una extensión de 2.400 km², se localiza principalmente al nororiente del Departamento del Cauca comprendiendo los municipios de Popayán, Páez (Belalcazar), Inzá, Silvia, Totoró, Jambaló, Caldono, Cajibío y Piendamó; y una pequeña parte del occidente del Departamento del Huila en el municipio de La Plata (Figura 13), El área está limitada por las siguientes coordenadas planas con origen Oeste:

X: 1.060.000-1.200.000; Y: 760.000-800.000.

Figura 13. Mapa de localización de la plancha 343 Silvia.



El área de estudio se localiza al oriente del Departamento del Cauca y al occidente del Departamento del Huila, ocupa los flancos Este y Oeste de la Cordillera Central en el Macizo Colombiano, donde afloran rocas metamórficas, ígneas, volcanosedimentarias y sedimentarias con edades que van desde el Precámbrico hasta el Reciente (Ruíz & Marquínez, 2003).

La presencia del eje de la Cordillera Central que divide el área de la plancha, de norte a sur, genera dos vertientes hidrográficas que son la del Río Cauca al occidente y la del Río Magdalena al oriente. Los principales ríos de la vertiente del Magdalena son: Malvasá, Páez, Moras, Sucio y Ullucos; de la vertiente del Río Cauca son: Piendamó, Cofre, Palacé y Ovejas (Ruíz & Marquínez, 2003).

6.2 POBLACIÓN

De acuerdo con IGAC (1993), el área de la plancha comprende los municipios caucanos de Popayán, Silvia, Totoró, Piendamó, Inzá, Páez, Jambaló y Caldon, de los cuales Popayán, Caldon y Páez tienen su cabecera fuera de la plancha. En ellos predominan los grupos indígenas de los Paeces y Guambianos, identificables por su economía, instituciones, costumbres e idioma y pertenecientes al grupo étnico Caribe. Las comunidades paeces habitan, especialmente, en la zona de Tierradentro, nombre que ilustra el aislamiento y la inaccesibilidad que históricamente ha caracterizado su territorio, “las montañas de la tierra adentro”, como la designaban los españoles en la época colonial. Posee suelos poco fértiles donde se realiza una agricultura de subsistencia, por lo que se han desarrollado fuertes conflictos por la tenencia de tierras. (Ruíz & Marquínez, 2003).

La ubicación de los asentamientos indígenas obedece a un poblamiento disperso, aunque los Guambianos, en comparación con los paeces, viven más nucleados. El contexto ecológico en que se desenvuelve el quehacer diario de las comunidades Guambianas y paeces juega un papel determinante en la relación hombre - tierra, de ella se derivan las fuentes de subsistencia y sirve como patrón de asentamiento y defensa; ambos grupos étnicos aprovechan, en forma comunitaria, la tierra, los bosques, el agua, la fauna y la flora (IGAC, 1993).

La actividad fundamental, casi que exclusiva, está constituida por la agricultura tradicional de café, caña panelera, yuca, papa y frijol, caracterizada por sus bajos niveles de productividad. La situación económica, el atraso productivo, relacionado con el predominio de suelos pobres, con la intensa presión sobre la tierra y con las limitadas oportunidades de empleo alternativo, han generado unas precarias condiciones de vida, particularmente para la población indígena, que se manifiestan en una alta tasa de mortalidad infantil, una de las más elevadas del mundo y uno de los más bajos índices de esperanza vida (CRC, 1984).

6.3 VÍAS DE COMUNICACIÓN

Las vías de comunicación más importantes son: Piendamó - Silvia - Mosoco - Vitoncó, Silvia - Jambaló, Panamericana - Totoró - Gabriel López - Inzá y La Plata - Inzá. La mayoría de estas carreteras se encuentran sin pavimentar y en regular estado de tránsito para automotores. (Ruíz & Marquínez, 2003).

6.4 HIDROGRAFÍA

La presencia del eje de la Cordillera Central que divide el área de la plancha, de norte a sur, genera dos vertientes hidrográficas que son la del Río Cauca al oeste y la del Río Magdalena al este. Los principales ríos de la vertiente del Magdalena son: Malvasá, Páez, Moras, Río Sucio y Ullucos; de la vertiente del Río Cauca son: Piendamó, Cofre, Palacé y Ovejas. En los páramos de Las Delicias, Moras, Guanacas y Gabriel López son comunes los lagos que dan origen a la mayoría de los ríos mencionados, razón por la cual se constituyen como reserva hídrica importantísima. Los lagos de mayor extensión y connotación religiosa para las comunidades indígenas de la región, son las llamadas lagunas: Guantama, El Violín, Piendamó, Juntas, Delicias, La Estrella, La Herradura y La Palma. (Ruíz & Marquínez, 2003).

6.5 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de la Plancha 343-Silvia presenta un rango de temperaturas que varía desde 2°C hasta 20°C. Esta variación se encuentra directamente controlada por los cambios de altura sobre el nivel del mar que presenta el terreno y se le conoce como pisos térmicos (IGAC, 1993). En el área cartografiada, los pisos térmicos varían desde templado hasta páramo.

En el piso térmico frío se ubican las cabeceras municipales de Silvia, Jambaló y Totoró, mientras que en el templado se encuentran las de Inzá y Piendamó. En el

piso térmico de páramo se encuentra la población de Gabriel López. En toda el área se presenta una distribución de épocas cálidas y frías de tipo bimodal, los meses de febrero-marzo y de agosto–septiembre son los de verano. El régimen de lluvias también es de carácter bimodal, los meses más lluviosos son de marzo a junio y de octubre a noviembre; el tiempo seco se presenta en los meses de enero - febrero y agosto - septiembre. La precipitación media anual está entre 2.500 y 3.500 mm (IGAC, 1993).

6.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Los suelos distribuidos en la plancha 343 según IGAC (2009), se diferencian por su drenaje natural variable desde excesivo hasta pobremente drenados, son muy superficiales a profundos, de reacción ácida y fertilidad baja en las zonas más húmedas, en contraste, en las zonas secas los suelos tienden a ser ligeramente alcalinos y neutros con fertilidad natural media y alta. Estos suelos tienen baja hasta muy alta evolución pedogenética. Estos suelos se han desarrollado a partir de materiales parentales sedimentarios, ígneos y metamórficos, con una significativa cobertura de ceniza volcánica. Los principales órdenes de suelos encontrados en esta zona son Andisoles, Entisoles, Inceptisoles, Histosoles, Oxisoles y Alfisoles. Las texturas dominantes son moderadamente finas (FAr, FArA, FArL) y finas (Ar, ArL, ArA), esqueléticos y fragmentales, en algunas áreas son moderadamente gruesas y gruesas (FA, AF), con fragmentos gruesos en el perfil. En estas zonas hay presencia de arcillas alófana, caolinita, gibsitita, illita, montmorillonita, muscovita y vermiculita.

La utilización mayoritaria de las tierras es dedicada a las actividades pecuarias con pastos para ganadería extensiva y semi-intensiva. El área agrícola es relativamente pequeña, generalmente poco tecnificada y gran parte de esta es de subsistencia. En el clima frío, hacia las laderas de las montañas, se tienen cultivos transitorios tradicionales de maíz, papa, cebolla y hortalizas sobre pendientes

inclinadas y en suelos de baja a mediana fertilidad que se requieren efectuar manejos apropiados para garantizar su conservación, como sembrar siguiendo las curvas de nivel y utilizar barreras viva, entre otros. Otro uso que se les da a los suelos en clima frío es la ganadería, especialmente en las áreas de ladera, con poca tecnificación, con pastos naturales y algunas áreas con pastos enrastrados. En los suelos de clima medio se desarrollan actividades ganaderas, principalmente en el altiplano de Popayán, donde se tiene un buen grado de tecnificación. Algunas áreas de colinas y lomeríos dedicadas al pastoreo presentan problema evidentes de erosión por la presencia de patas de vaca y terracetos, debido a las pendientes de los suelos que no las hacen aptas para dicha labor. Se cultiva café en suelos de pendientes muy variadas y de fertilidad moderada, especialmente en los municipios de Cajibío, Piendamó, Popayán, Totoró, Caldon, Jambaló y Toribío.

Sobre otras áreas extensas de la vertiente oriental de la cordillera Occidental y del altiplano de Popayán, en climas medios y fríos, de pendientes inclinadas y con suelos de baja fertilidad, se presenta el pastoreo extensivo aprovechando los pastos naturales con bajo nivel tecnológico. Se han establecido plantaciones de pinos y eucaliptos sobre suelos de variada topografía con climas medios y fríos en los municipios de Toribío, Jambaló, y Popayán. Las coberturas y usos de los suelos en el resto del área corresponden a vegetación de páramo, rastrojos y bosques naturales de protección.

En los paisajes dominados por relieve de montaña con pendientes escarpadas donde los ríos y quebradas han labrado dentro de los valles ciertas áreas planas y relieves de terrazas, presentan suelos de fertilidad baja a moderada. Allí se desarrollan actividades agrícolas tradicionales, prevalecen los cultivos de café, maíz, caña panelera y frutales. El mayor uso de los suelos en esta parte está dedicado a la ganadería extensiva en especial en áreas de alta pendiente con suelos superficiales, de baja fertilidad. El resto de los suelos se encuentran cubiertos con vegetación de páramo, rastrojos y bosques naturales.

7 MARCO GEOLÓGICO

La geología de la zona está constituida por rocas que van desde el precámbrico hasta el reciente. Las rocas precámbricas están representadas por el Ortogranito de La Plata. El Paleozoico consta de metamorfitas agrupadas en el Neis de Quintero y el Complejo Cajamarca, localizados en el núcleo de la Cordillera Central, y el Complejo Arquía que aflora en el flanco occidental de la cordillera (Ruíz & Marquínez, 2003).

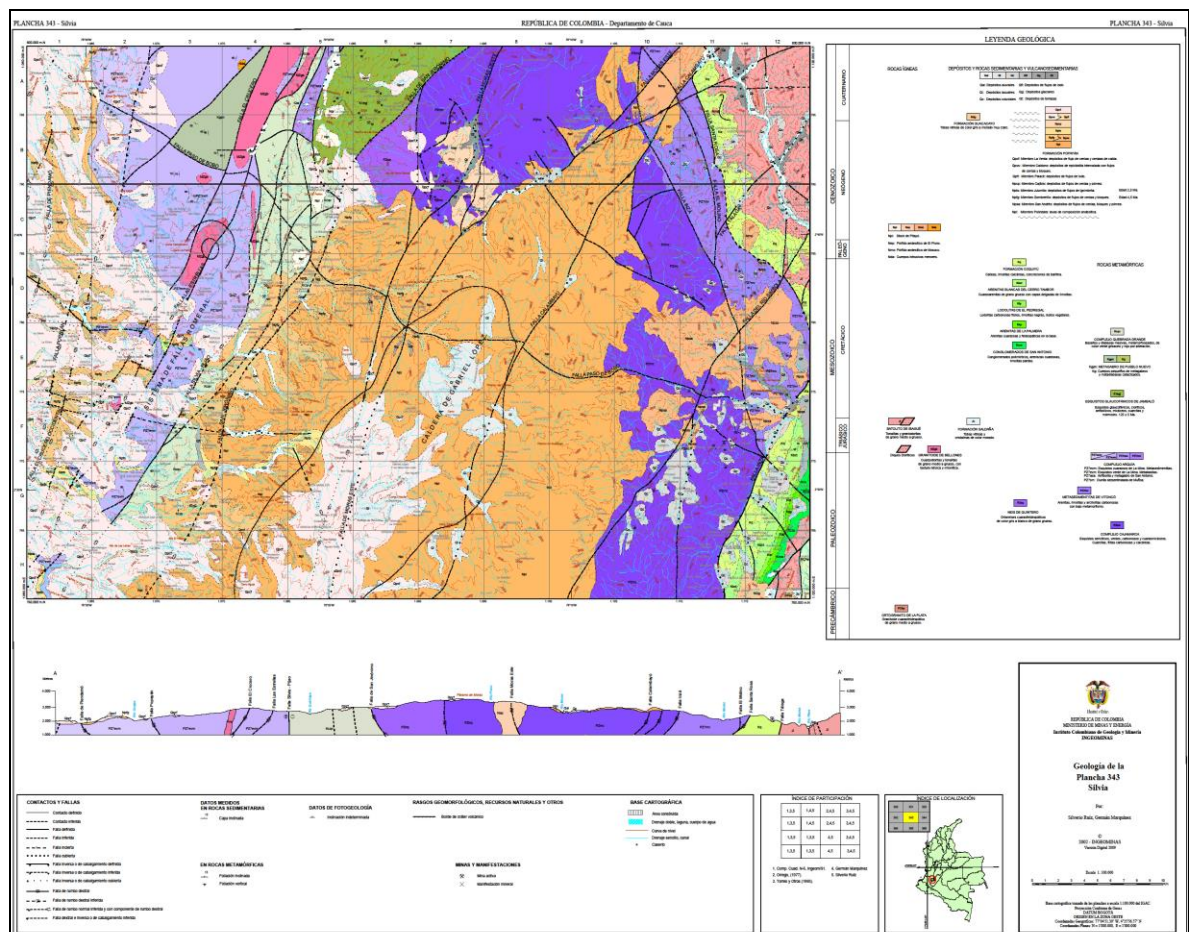
Las rocas ígneas de edad mesozoica están agrupadas en el Granitoide de Bellones, Batolito de Ibagué, Formación Saldaña de edad triásico jurásica. Del Cretácico son los Esquistos Glaucofánicos de Jambaló, el Metagabro de Pueblo Nuevo y el Complejo Quebradagrande, todos ellos localizados en el flanco occidental de la Cordillera Central. En el flanco oriental de la cordillera, el Cretácico está constituido por los Conglomerados de San Antonio, Arenitas de La Palmera, Lodolitas de El Pedregal, Arenitas Blancas del Cerro Tambor y las calizas de la Formación Coquiyú (Ruíz & Marquínez, 2003).

Las rocas de edad cenozoica diferenciadas en el área están representadas por algunos pequeños cuerpos ígneos subvolcánicos, de composición andesítica a dacítica y edad neógena. Aparte de éstos, se presentan también flujos de lava de composición andesítica y depósitos vulcano sedimentarios de la Formación Popayán, que reposan discordantemente sobre las unidades paleozoicas y mesozoicas (Ruíz & Marquínez, 2003).

El estilo tectónico regional es de tipo compresivo, está representado por estructuras pertenecientes principalmente al Sistema de Fallas Romeral, que se localiza en el flanco oeste de la Cordillera Central, con una dirección general NNE (Figura 15); sobresalen la Falla Silvia - Pijao, que sirve de límite tectónico entre los complejos Arquía y Quebradagrande, la Falla San Jerónimo, que limita los complejos Cajamarca y Quebradagrande, y los esquistos glaucofánicos de

Jambaló. Pertenecientes al mismo sistema existen algunas fallas menores como son las de Crucero, Estrellas, Popayán y Piendamó. Fallas de dirección NW-SE, como la de Paso de Bobo, cortan las estructuras antes mencionadas. El flanco oriental de la Cordillera Central se encuentra afectado por fallas con direcciones N-S y NW-SE, entre las que se destacan las de Moras, Inzá, Molino y Tálaga (Ruíz & Marquínez, 2003).

Figura 14. Mapa geológico generalizado de la plancha 343-Silvia (Ruiz & Marquínez, 2002).



7.1 ESTRATIGRAFÍA

Las unidades litológicas de la plancha 343-Silvia se describen de la más antigua a la más reciente de la siguiente forma:

7.1.1 Ortogranito de La Plata (PCap). Aflora en el municipio de Belalcázar, en la cuenca del Río Páez como pequeños cuerpos aislados de rocas ultrametamórficas de aspecto granítico. La roca principal es un granitoide cuarzo feldespático con textura fanerítica de grano medio a grueso que pasa gradualmente, hacia sus bordes, en contacto con el Batolito de Ibagué, a rocas bandeadas con estructuras migmatíticas. La edad de estas rocas es precámbrica de acuerdo con Rodríguez (1995). Sin embargo, algunas dataciones han dado edades jurásicas (139 ± 4 ; Álvarez & Linares, 1983), lo que podría explicarse por la edad de la intrusión del Batolito de Ibagué sobre las rocas metamórficas (Priem *et al.*, 1989).

7.1.2 Neis de Quintero (PZnq). Localizado en el municipio de Silvia, aflora en la margen derecha de la quebrada Quintero. Según Orrego y París (1991), esta unidad está conformada por ortoneises cuarzo feldespáticos, de color gris a blanco, de grano grueso; su textura es granoblástica a porfiroblástica. Los minerales principales son: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, moscovita, granate y minerales opacos (Ruíz & Marquínez, 2003). Las edades de los neises de Samaná y La Miel, y los granitos de Palmitas y Las Palmas, correlacionables con el Neis de Quintero, arrojan edades radiométricas que oscilan entre 242 y 1.268 Ma (Maya, 1992) que le asigna una edad premesozoica, posiblemente paleozoica.

7.1.3 Complejo Cajamarca (PZmc). Cuerpo metamórfico de gran extensión en la cuenca del Río Páez, en su parte alta y media, conformando el núcleo de la cordillera Central. Maya y González (1995) proponen el nombre de Complejo Cajamarca para denominar la faja de rocas metamórficas que están conformando el núcleo de la Cordillera Central, del cual hace parte un sector de la plancha 343-Silvia. El complejo está conformado por esquistos verdes, esquistos negros,

esquistos cuarzo micáceos y cuarcitas. También se observan filitas carbonosas y calcáreas, metalimolitas, metachert y esquistos sericíticos en el Río Ullucos y en los alrededores de Inzá (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.4 Metasedimentitas de Vitoncó (PZ?mv). Afloran en una faja con dirección N-S, en la parte media de la cuenca del Río Páez, en los municipios de Inzá y Belalcázar. Esta unidad está compuesta por intercalaciones de arenitas de grano medio a grueso, limolitas silíceas y lodolitas carbonosas con texturas metamórficas muy evidentes principalmente en las lodolitas carbonosas, las cuales tienen apariencia de filitas a esquistos carbonoso sericíticos, así como lustre sedoso y desarrollo de planos con sericita. El color de las lodolitas es gris oscuro cuando están frescas y pardo rojizo cuando se encuentran meteorizadas. Las limolitas son silíceas y calcáreas localmente, de color gris oscuro, con laminación ondulosa en paquetes gruesos de 1 a 2 metros (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.5 Complejo Arquía. Se encuentra localizado en el flanco occidental de la cordillera Central, en la cuenca del Río Cauca, desde el casco urbano de Popayán, al sur hasta el municipio de Toribío al norte. Según Orrego y París (1999), hacen parte del Complejo Arquía: la Dunita Serpentinizada de Muñoz, Anfibolita y Metagabro de San Antonio y los Esquistos Verdes de La Mina.

7.1.5.1 Dunita Serpentinizada de Muñoz (PZ?sm). Su descripción litológica y petrográfica es tomada del trabajo de Orrego y París (1991). Se trata de un cuerpo de dunita serpentinizada de tonalidades verde, azul y negra, atravesada por numerosas microfracturas rellenas de serpentina fibrosa. Al microscopio se observa totalmente serpentinizada con antigorita o lizardita, serpentina de hábito fibroso, cromita y relictos de olivino.

7.1.5.2 Anfibolita y Metagabro de San Antonio (PZ?asa). Se trata de una secuencia de metamorfitas conformadas por anfibolitas, metagabros y algunos niveles delgados de metapelitas en facies anfibolita y anfibolita – epidota (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.5.3 Esquistos Verdes y cuarzosos de La Mina (PZ?evm; PZ?ecm). De acuerdo con Orrego y París, (1999), el Conjunto de esquistos verdes o metabasitas (PZ?evm), comprenden una secuencia de esquistos cloríticos de color verde grisáceo oscuro en estado fresco y rojo anaranjado a pardo por meteorización, con estructura maciza a foliada. Siguiendo la descripción de Orrego y París (1999), el Conjunto de rocas metasedimentaria esquistosas (PZ?ecm) se compone de esquistos Cuarzomicáceos, esquistos carbonosos, metaareniscas y cuarcitas. Sus colores característicos son grises y pardos claro a oscuro.

7.1.6 Granitoide de Bellones (MZgb). Aflora al noreste de la plancha en el flanco occidental de la cordillera Central, en la cuenca del Río Cauca como una faja delimitada por las fallas El Crucero y Las Estrellas. Se trata de cuarzodioritas a tonalitas, con texturas que varían desde fanerítica de grano grueso a medio hasta néisica milonítica. La roca tiene un color gris claro. Los principales minerales que la constituyen son: cuarzo, plagioclasa, biotita, hornblenda y, en menor proporción, feldespato potásico y minerales opacos. El cuarzo tiene extinción ondulatoria; la plagioclasa se encuentra saussuritizada alterada a sericita y epidota, y la composición original, posiblemente oligoclasa - andesina; la microclina se encuentra alterada a minerales arcillosos; clorita aparece como alteración de hornblenda (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.7 Formación Saldaña (Js). Se extiende por esta zona en pequeñas franjas en los municipios de San Sebastián e Inzá, en el flanco este de la cordillera Central. En el área, las rocas de la Formación Saldaña se encuentran muy meteorizadas; esto, sumado a la fuerte tectónica del área y su poca exposición, hace imposible reconocer una secuencia estratigráfica ordenada y completa, lo

que impide levantar una sección estratigráfica de la unidad. Sin embargo, se logró definir que la litología predominante en la Plancha 343-Silvia es de tobas vítreo cristalinas de color morado muy duras, ricas en cristales de biotita y plagioclasa (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.8 Batolito de Ibagué (Ji). Este cuerpo ígneo de gran extensión aflora en la margen oriental de la cordillera Central, en la cuenca del Río Páez. El plutón tiene una composición tonalítica a granodiorítica dominante. Es de color blanco grisáceo, moteado de negro, de textura fanerítica, granular localmente inequigranular, de grano medio y esporádicamente grueso. De acuerdo con Marquínez *et al.* (2002), los minerales félsicos son cuarzo, plagioclasa y, en menor cantidad, feldespatos potásicos (microclina); los máficos son hornblenda y biotita, que varía entre 5% y 10% del total de la roca, y, ocasionalmente, piroxeno (augita).

7.1.9 Esquistos Glaucofánicos de Jambaló (K1egj). Cuerpo que se extiende por el flanco occidental de la cordillera Central entre las poblaciones de Pitayo al sur y Toribío al norte. Según Orrego y París (1991), la unidad está conformada por esquistos glaucofánicos, esquistos cloríticos, esquistos anfibólicos, esquistos micáceos, cuarcitas y mármoles. En el sector de La Calera y al este de la población de Jambaló se pueden diferenciar dos subconjuntos dentro de la unidad; uno inferior compuesto por esquistos sericíticos y carbonosos, y uno superior calcáreo compuesto por mármoles grises y calizas marmorizadas, principalmente (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.10 Metagabro de Pueblo Nuevo (Kgpn). Sus mejores exposiciones se encuentran a lo largo del cauce del Río Quichayá, entre los municipios de Jambaló y Silvia; Se trata de metagabros y metadiabasas con metamorfismo de tipo dinámico, muy cizallados y de color verde grisáceo. Macroscópicamente están compuestos por plagioclasa y ferromagnesianos, muy alterados. De acuerdo con la descripción microscópica de Orrego y París (1991), está compuesta por

piroxenos alterados a actinolita y plagioclasa cálcica saussuritizada y es común la epidota como producto de alteración de plagioclasa. Otros minerales son clorita, calcita en venillas, esfena y óxidos de hierro y pirita.

7.1.11 Complejo Quebradagrande (Kcqy). Distribuido en una franja de dirección norte sur, ubicada entre la población de Totoro y Jambaló. El conjunto volcánico está conformado por basaltos y diabasas con estructuras masivas, de color predominante verde grisáceo, que por meteorización generan suelos de color rojo anaranjado, fácilmente identificables en campo. Por el camino que conduce de la localidad de Silvia hacia Pueblo Nuevo se observaron estas rocas con texturas amigdalares en capas de hasta 20 cm intercaladas con capas de hasta 5 cm de chert gris oscuro, arcillolitas y limolitas grises. En general, estas rocas sedimentarias presentan estratificación laminar, fina, rítmica y gradada. También son comunes estructuras ocasionadas por metamorfismo dinámico (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.12 Conglomerados de San Antonio (Kcsa). Aflora en zonas próximas a la carretera que conduce desde la población de El Pedregal a la población de San Antonio. Ruíz y Marquínez (2003), la describen como una sucesión de capas gruesas de conglomerados intercalados con arenitas, limolitas y lodolitas. En la parte inferior y media de la sucesión conglomerática de San Antonio, se presentan capas gruesas de conglomerados polimícticos, matriz soportados, con guijos hasta de 4 centímetros, redondeados a subangulares, que gradan hasta arenitas de grano medio a fino verdosas hacia el tope. Intercalados con los conglomerados se encuentran paquetes de limolitas y lodolitas verdosas a rojizas en capas de 50 centímetros a 2 metros y arenitas de grano fino a medio silíceas muy duras de tono verdoso y rojizo a morado muy claro.

La parte superior de la sucesión se encuentra cubierta, sin embargo, en algunos afloramientos se observan arenitas conglomeráticas intercaladas con limolitas y arenitas de grano grueso feldespáticas de color pardo.

7.1.13 Arenitas de La Palmera (Kap). Aflora en áreas próximas a la carretera que comunica la población El Pedregal con la vía que une Belalcázar con La Plata. Según Ruíz y Marquínez (2003), la unidad está constituida en su parte inferior por una sucesión de capas tabulares de arenitas arcillosas, de color gris oscuro, con laminación ondulada discontinua, intercaladas con capas delgadas de arcillolitas carbonosas físciles de color gris oscuro y pardo por oxidación, con nódulos de pirita de 1 cm de diámetro. En la parte superior de este segmento se encontraron varios niveles de hasta 10 cm de espesor de carbón.

La parte media está conformada por arenitas de grano fino de color pardo a tono rojizo por meteorización, con laminación inclinada, intercaladas con limolitas silíceas en capas hasta de 1 m y arcillolitas carbonosas de colores gris oscuro y físciles.

La parte superior de la unidad está constituida por arenitas cuarzosas de grano fino, muy bien cementadas, de color gris claro, en capas medias con forma lenticular, intercaladas con lodolitas carbonosas físciles y limolitas silíceas de color gris oscuro a negro.

7.1.14 Lodolitas de El Pedregal (Klp). Aflora en los alrededores de las poblaciones de El Pedregal, Belén y San Vicente al sureste de la plancha. Esta unidad está conformada por intercalaciones de lodolitas carbonosas físciles en capas hasta de 25 cm, con limolitas negras silíceas, bien cementadas, en capas de 15 cm. Los contactos entre las capas de lodolitas y limolitas son planoparalelos a ondulados. Las lodolitas son de color gris oscuro a negro cuando están frescas y pardo rojizo meteorizadas. Sobre las capas de limolita son comunes ondulitas asimétricas y superficies con alta bioturbación. En la parte inferior de la unidad se encuentran asociados con las lodolitas restos vegetales, moldes de plantas, bivalvos y fragmentos de peces (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.15 Arenitas Blancas del Cerro Tambor (Kbct). Aflora por el camino que conduce de la población de El Pedregal al cerro Tambor. La unidad está

compuesta por arenitas en sucesiones granodecipientes, que pasan de arenita de grano grueso en la base hasta arcillolita. Composicionalmente son cuarzoarenitas, sublitoarenitas y en algunas ocasiones litoarenitas, de color anaranjado muy pálido en roca fresca y anaranjado grisáceo en roca meteorizada. Texturalmente, las arenitas son arenita y arenita lodosa y entre cuarzo arenita, arenita lítica, arenita lodosa de cuarzo y arenitas lodosas líticas (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.16 Formación Coquiyú (Kq). Se localiza en un franja norte – sur, entre los municipios de Inzá y Páez en la cuenca del Río Páez. La unidad está compuesta por capas de biomicrita que forman escarpe duro, intercalaciones de lodolitas calcáreas con capas delgadas de caliza micrítica, capas de limolita calcárea intercalada con micrita y lodolita calcárea con micrita. También se presentan intercalaciones de shale negro con capas de micrita y lodolita calcárea (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.17 Pórfido Andesítico de El Pisco (Nep). De acuerdo con Orrego (1977), esta unidad está compuesta por pórfidos de composición andesítica - diorítica y dacítica con algunas características comunes como la mineralización de pirita en forma diseminada y en fracturas, minerales de ganga como cuarzo y carbonatos, enriquecimiento supergénico, alteración hidrotermal, fracturamiento moderado a intenso (megabrechas), presencia de brechas intrusivas mineralizadas y anomalías geoquímicas de Cu, Mo, Au, Pb, Zn y Ag.

7.1.18 Pórfido Andesítico de Mosoco (Nmo). El Pórfido Andesítico de Mosoco aflora al noreste del caserío de Mosoco y como pequeños cuerpos en las veredas Taravira y Calderas; está conformada por pórfidos granodioríticos a tonalíticos con matriz cristalina, de color gris claro y pardo por alteración de los ferromagnesianos. Los fenocristales están constituidos en su mayoría, por plagioclasa y hornblenda con dimensiones menores a los 0,5 cm de longitud (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.19 Stock de Pitayó (Npi). Se localizan al noreste de la población de Silvia a lo largo de la vía que comunica a este municipio con el municipio de Jambaló. Las rocas de este stock han sido clasificadas como pórfidos andesíticos compuestos por plagioclasa, hornblenda y opacos. La plagioclasa se presenta en forma de fenocristales y en la matriz como microlitos. El anfíbol se clasificó como oxihornblenda. (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.20 Formación Guacacayo (NQg). Se presentan al sureste del área de estudio en la vereda San Vicente y está constituida por tobas vítreas con pseudoestratificación en capas gruesas con contactos planoparalelos a lenticulares, ondulados. Las tobas son de color gris a morado muy claro y presentan estructuras de flujo. También tienen abundante biotita en laminillas de hasta 1 mm de diámetro (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.21 Formación Popayán. Formación de gran extensión en el centro y oriente del Departamento, aflora en la cima de la cordillera Central en el páramo Las Delicias y se extiende hacia ambos flancos de la cordillera, todos los miembros de la Formación Popayán están relacionados con los diferentes ciclos de actividad eruptiva de la caldera de Gabriel López. Se divide en los miembros de Polindara (Npl), Sombrerillo (Npfg), San Andrés (Npsa), Julumito (Npts), Cajibío (Npcp), Palacé (Qpfl), Caldonó (Qpvs) y La Venta (Qpcf).

El Miembro Polindara (Npl) está constituido por lavas andesíticas de color gris oscuro y textura porfirítica a afanítica. El Miembro Sombrerillo (Npfg) Corresponde a flujos de ceniza gris gruesa que rodea bloques angulares a subredondeadas. El Miembro San Andrés (Npsa) lo conforman una sucesión de aglomerados fluviovolcánicos generados por flujos de ceniza y escombros, separados en su parte media por capas de arenitas pumáceas. El Miembro Julumito (Npts) está constituido por depósitos de ignimbritas de textura porfirítica. El Miembro Cajibío (Npcp) lo forman depósitos de flujo de ceniza y pómez. El Miembro Palacé (Qpfl) está conformado por aglomerados líticos, cuya composición es principalmente de

andesitas, basaltos y, en menor cantidad, esquistos. El Miembro Caldono (Qpvs) Son depósitos compuestos por gravas de composición andesítica, arenas y arcillas. Se presentan también lentes de flujos de ceniza y bloques intercalados. Por último el Miembro La Venta (Qpcf) representa depósitos de flujo de ceniza y cenizas de caída. (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.22 Depósitos aluviales (Qal, Qt). Se presentan asociados a los cauces actuales y márgenes de los principales drenajes de los dos flancos de la Cordillera Central y corresponden a depósitos de gravas, arenas y arcillas. Su forma es alargada y en algunos casos conforman terrazas con alturas variables (Qt) (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.23 Depósitos coluviales (Qc). Los depósitos coluviales son depósitos de ladera, formados por fenómenos de remoción en masa ocasionados por la gravedad y favorecidos por la saturación de suelo y roca durante los períodos lluviosos. Su distribución está asociada principalmente con las cuencas de los ríos Páez, Negro y Ullucos. Estos depósitos están compuestos por bloques angulosos de rocas metamórficas, sedimentarias, metasedimentarias, piroclásticas e ígneas (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.24 Depósitos lacustres (Ql). Los depósitos lacustres son depósitos formados por la colmatación de lagos naturales y pantanos de origen glacial. Se presentan hacia la cima de la Cordillera Central, en el páramo de Gabriel López. Su composición es esencialmente de limos en láminas de tonos claros y oscuros (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.25 Depósitos glaciales (Qg). Los depósitos glaciales se presentan sobre el eje la Cordillera Central, en los alrededores de la caldera de Gabriel López. Estos depósitos se encuentran asociados con geoformas de origen glacial, valles sinuosos en “U” y circos glaciales en las cabeceras de algunas quebradas como La Michambe, afluente del Río Piendamó. Dentro de los valles en “U” se forman

montículos correspondientes a morrenas centrales. El depósito se encuentra compuesto por una mezcla heterogénea de arcilla, limo, arena y cantos subangulosos estriados de pórfidos mineralizados, rocas metamórficas y andesitas (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.1.26 Depósitos originados por flujos de lodo (Qfl). Se clasificaron como depósitos de flujos de lodo a aquellos que conforman abanicos con superficies ligeramente onduladas. Uno de los más importantes se encuentra en El Pedregal, al este de la plancha. Están constituidos por fragmentos de arenisca, piroclastitas, rocas ígneas intrusivas y madera, embebidos en una matriz areno arcillosa (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

De acuerdo con Ruíz y Marquínez (2003), el área correspondiente a la Plancha 343-Silvia comprende los flancos y el eje de la Cordillera Central en su parte sur. Esta condición permite separar tres regiones morfoestructurales cuyos límites son las fallas Inzá y San Jerónimo.

La región morfoestructural occidental está limitada al este por la Falla San Jerónimo, y coincide con el flanco occidental de la cordillera. Su morfología es abrupta, y constituye un anticlinorio caracterizado por una tectónica de bloques que envuelve rocas de los Complejos Quebradagrande y Arquía. Esta estructura se encuentra afectada en la parte norte de la plancha por el Granitoide de Bellones y por rocas volcánicas de composición dacítica y andesítica, de edad cenozoica.

La región morfoestructural central está enmarcada entre las fallas San Jerónimo al oeste e Inzá al este, y agrupa rocas pertenecientes al Complejo Cajamarca, que son consideradas como las formadoras de la protocordillera Central durante el Paleozoico. Esta unidad morfoestructural coincide geográficamente con el eje de la Cordillera Central, pero en la Plancha 343-Silvia se presenta en gran parte

cubierta por los productos efusivos de la actividad volcánica de la caldera de Gabriel López.

La región morfoestructural oriental se caracteriza por el monoclinal formado por las rocas cretácicas, con buzamiento hacia el oeste, conforma un pliegue amplio y muestra el escarpe sobresaliente de La Muralla, en la cuenca del Río Páez. En el sector de San Andrés, el monoclinal está cubierto por los productos volcanoclásticos de la Formación Popayán del Plioceno – Holoceno. Aunque la mayor parte de las estructuras tiene una dirección general NNE-SSW, es importante destacar la Falla Paso de Bobo, de dirección NW-SE, que afecta las tres regiones morfoestructurales mencionadas.

7.2.1 Falla San Jerónimo. La referencia original de la Falla San Jerónimo corresponde a Grosse (1926), posteriormente redefinida por Mosquera y Orrego (1990) como una estructura regional que limita el Complejo Cajamarca de edad paleozoica y afinidad continental con el Complejo Quebradagrande de edad mesozoica y afinidad oceánica. En la plancha, esta falla se reconoce en una longitud de 46 km, sin fallas satélites asociadas, tiene rumbo aproximado de N37°E y buzamiento hacia el este. Su comportamiento es de tipo inverso, con el bloque del Complejo Cajamarca y el Neis de Quintero levantado y el del Complejo Quebradagrande hundido.

7.2.2 Falla Silvia – Pijao. El nombre compuesto, que se usa actualmente, procede de Mosquera y Orrego (1990). Esta estructura sirve de límite a los complejos Arquía y Quebradagrande (Maya & González, 1995); en el área estudiada se puede seguir por una longitud de 43 km, con un rumbo de N35°E en su parte norte y N15°E hacia el sur. Según París y Sauret (1991), es de gran extensión en la Cordillera Central y su expresión topográfica es persistente por centenares de kilómetros en su flanco occidental. En el área de estudio presenta elementos morfoestructurales importantes, tales como facetas triangulares y

escarpes de falla, así como el alineamiento del cauce de algunas quebradas menores.

En el sector de Paispamba, al sur de la plancha, se presentan grandes deslizamientos asociados al trazo de la falla, presencia de rezumaderos de agua salada, suelos húmedos y desplazamiento de cenizas recientes, que evidencian una posible actividad neotectónica de la estructura. La megafalla Silvia - Pijao se asocia o releva con las fallas de Las Estrellas y El Crucero.

7.2.3 Falla Las Estrellas. La Falla Las Estrellas fue definida por Orrego y Acevedo (1984), es una falla de carácter regional, dextro-lateral, con componente normal, que corresponde con el límite oriental de los cuerpos ígneos plutónicos pertenecientes al Granitoide de Bellones. Tiene un rumbo general de N30°E y una longitud de exposición en la plancha de aproximadamente 44 km. Según París y Sauret (1991), a lo largo de la línea de falla se presentan geformas tales como silletas de falla, escarpes regularmente preservados y quiebres de terreno. Una falla satélite de ésta, en el sector de Paniquitá, muestra facetas triangulares y el desplazamiento de corrientes menores en sentido dextro-lateral.

7.2.4 Falla El Crucero. La Falla El Crucero fue definida por Orrego y Acevedo (1984); esta falla es el límite occidental del Granitoide de Bellones, su rumbo es N30°E y tiene una longitud expuesta de 44 km en la plancha; es dextro-lateral con componente normal.

París y Sauret (1991) describen geformas asociadas con el trazo de esta falla, entre las que se encuentran los escarpes regularmente degradados de varios kilómetros de longitud, que se destacan con mayor claridad al sur de la Plancha 343-Silvia y que conforman el límite del borde montañoso de la Cordillera Central. La altura de estos escarpes varía de 80 a 200 m y se ubican entre el Río Blanco y el Río Piendamó. Otros rasgos asociados son las facetas triangulares desgastadas, los valles con corrientes rectilíneas, silletas, quiebres del terreno y

corrientes de agua desplazadas en sentido lateral derecho. En la carretera a Totoró son comunes las fracturas de tipo distensivo asociadas con su actividad.

7.2.5 Falla Piendamó. La Falla Piendamó fue definida por Orrego y París (1999), el trazo de falla se encuentra en el extremo noroeste de la plancha, con una longitud de exposición de 20 km y rumbo N8°E. Sus mejores exposiciones se encuentran en las vecindades de Piendamó donde se observan rasgos morfotectónicos notables, como un escarpe de falla con cara al occidente que alcanza a tener unos 450 m de altura, y muestra quiebres topográficos en los perfiles, lo cual constituye una manifestación de los varios episodios de reactivación de la falla. El escarpe, además, se presenta algo inclinado, con ligeros indicios de movimientos de tipo inverso y lateral derecho. La parte occidental del escarpe mayor muestra otras líneas de falla y escarpes menores.

Sobre la vertiente sur del Río Piendamó se presenta otro escarpe con dirección NNW-SSE, que limita el bloque tectónico por el sur. Hacia el sur de Piendamó, esta falla se une al trazo de la Falla Popayán.

7.2.6 Falla Popayán. La Falla Popayán fue definida por Orrego y París (1999), se presenta hacia el piedemonte del flanco oeste de la Cordillera Central, con rumbo N10°E y una longitud expuesta 32,5 km, en el área de estudio. A lo largo de este trazo se presentan algunos rasgos morfoestructurales tales como escarpes de falla y silletas (París & Sauret, 1991). Esta estructura afecta metamorfitas del Complejo Arquía y depósitos recientes de la Formación Popayán, y es paralela a las fallas El Crucero y Las Estrellas. Los bloques orientales suben con respecto a los occidentales con un plano de falla de inclinación al este; presenta movimientos horizontales importantes.

7.2.7 Falla Moras. Orrego y París (1991) consideran que la Falla Moras representa una sutura paleozoica que sirve de límite entre las rocas metamórficas paleozoicas del Complejo Cajamarca y del Neis de Quintero. Según los mismos

autores, esta sutura se encuentra alineada con la cadena volcánica actual de la cordillera y posiblemente corresponde con la megafalla Palestina, al norte del país.

En el estudio realizado por ICEL (1983), esta falla es llamada Falla Tóez y se describe como una fractura evidente por la terminación abrupta del plutón de Cohetandilló, al norte del área de estudio, contra las lavas andesíticas del volcán Nevado del Huila. Presenta una perfecta alineación con los volcanes Nevado del Huila, Puracé y la estructura caldérica de Gabriel López, que hace pensar en una reactivación durante el Plioceno - Pleistoceno, a la cual se relaciona una fuerte actividad volcánica.

En el estudio de INGEOMINAS - Nasa Kiwe (1995), se diferencian las fallas Moras Oeste y Moras Este. La Falla Moras Oeste es inversa, se caracteriza por afectar rocas paleozoicas del Complejo Cajamarca y depósitos neógenos de la Formación Popayán. La Falla Moras Este también tiene carácter inverso y se evidencia en la quebrada Ansayó, donde afecta lavas cuaternarias del volcán Nevado del Huila; además, afecta las lavas de la extinta caldera de Gabriel López y su traza coincide con rasgos morfoestructurales, tales como cambios fuertes de pendiente y alineación de los drenajes.

Las fallas Moras Este y Oeste definen el bloque tectónico donde ocurrió el movimiento principal y las réplicas del sismo de Páez de junio de 1994. También en este bloque se presentaron el mayor número de deslizamientos y agrietamientos originados por este sismo.

7.2.8 Falla Inzá. La Falla Inzá fue cartografiada por ICEL (1983), tiene una longitud de 42 km en el área de estudio, con un rumbo N3°E en su parte sur y N15°W al norte. Sirve como límite entre las rocas paleozoicas del Complejo Cajamarca y rocas cretácicas de la Formación Coquiyú. Cerca de la población de Inzá, con su trazo se presenta asociada una zona de brecha de aproximadamente

1 km de ancho, sin que en ella se detecten evidencias de actividad reciente (INGEOMINAS - Nasa Kiwe, 1995).

En el estudio de ICEL (1983) la denominan Falla Moras y la consideran como parte de un sistema de fallas de rumbo que corta las fallas con dirección NE-SW de la parte alta de la cuenca del Río Páez; la consideran de tipo inverso y con inclinación del plano al oeste. Por estar afectando el Complejo Cajamarca, se considera como una falla antigua que ha contribuido al levantamiento de la Cordillera Central, en el flanco E.

7.2.9 Falla Santa Rosa. La Falla Santa Rosa es una estructura de cabalgamiento con una dirección general norte sur y una longitud de 50 km en la plancha, comprendidos entre la Falla Calambayú al norte y la Falla Inzá al sur. El plano de falla se observa subhorizontal al oeste de la población de Togoima en el camino que de Coquiyú conduce al Río Páez, con vergencia hacia el este, y pone en contacto las Metasedimentitas de Vitoncó sobre la Formación Coquiyú (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.2.10 Falla Calambayú. La Falla Calambayú es una estructura con una longitud de 50 km en la plancha y dirección general N15°E hacia el sur y N53°E en su parte norte. Su comportamiento cinemático es de rumbo dextral, con rasgos morfoestructurales asociados, entre los que se tienen alineamiento de drenajes, como la quebrada Calambayú, los ríos Moras y Palacé y algunos afluentes del Río Sucio al suroeste del Cerro El Ángel. En cuanto a su edad, al parecer es reciente, si se tiene en cuenta que afecta el trazo de la Falla Tóez y sirve como límite de la falla de cabalgamiento Santa Rosa. Al parecer, la actividad de esta falla también está asociada con el emplazamiento de las rocas subvolcánicas de edad neógena pertenecientes al stock de Mosoco (Ruíz & Marquínez, 2003).

7.2.11 Falla Tálaga. Según ICEL (1983), la Falla Tálaga se extiende en el área de estudio a lo largo de 15 km con una dirección de N38°E, y afecta el Batolito de

Ibagué y la Formación Coquiuyú. Su comportamiento cinemático es de tipo normal, con una componente de rumbo sinistral.

7.2.12 Falla El Molino. La Falla El Molino (INGEOMINAS, 1995) tiene una extensión de 11 km, en el nacimiento de la quebrada Guacharacas, se une al trazo de la Falla Tálaga, tiene una tendencia N10°W; está controlando el cauce del Río Molino y afecta las Metasedimentitas de Vitoncó, forma una cuña con la Falla Inzá, donde este bloque de Vitoncó se levantó con respecto al de la Vereda La Cruz.

7.2.13 Falla Tóez. La Falla Tóez (ICEL; 1983) es una falla lateral izquierda, con buzamiento hacia el W; presenta fuertes indicios de actividad reciente. La continuación de su trazo hacia el SW, correspondería a la Falla Moras Este.

7.2.14 Falla del Río Símbola. Según ICEL (1983), la Falla del Río Símbola es una falla regional de tipo normal, de poco salto; la zona de brecha es angosta, de unos 50 m de anchura. En la Vereda Muralla, margen derecha alta del Río Páez, se observa desplazamiento de rocas sedimentarias de 3 a 4 m. Tiene una dirección N40°E, y en el área de estudio tiene una longitud de 32 km; en parte está cubierta por el flujo piroclástico de San Andrés; su trazo hacia el sur afecta las rocas del Complejo Cajamarca y el cauce del Río Ullucos.

7.2.15 Fallas transversales NW-SE. Falla Paso de Bobo. La Falla Paso de Bobo fue cartografiada por Orrego y París (1991) en el Cuadrángulo N-6. Tiene una longitud de 68 km en la Plancha 343 Silvia, un rumbo de N45°W al occidente y N80°W al oriente de la Cordillera Central y un plano de falla casi vertical, atraviesa la Plancha 343-Silvia, y controla la parte alta de los ríos Quichayá, Malvasá y Piendamó. Hacia el núcleo de la Cordillera Central se encuentra cubierta por los productos volcánicos de la Formación Popayán. Arcila y Monsalve (1996), en la evaluación estructural del sismo de Páez, concluyen que el proceso de réplicas en el área se restringió a un sector comprendido entre dos fallas, una al norte del Nevado del Huila con dirección NW-SE y la otra, correspondiente a la Falla Paso de Bobo, con la misma dirección, al sur.

8 ANTECEDENTES

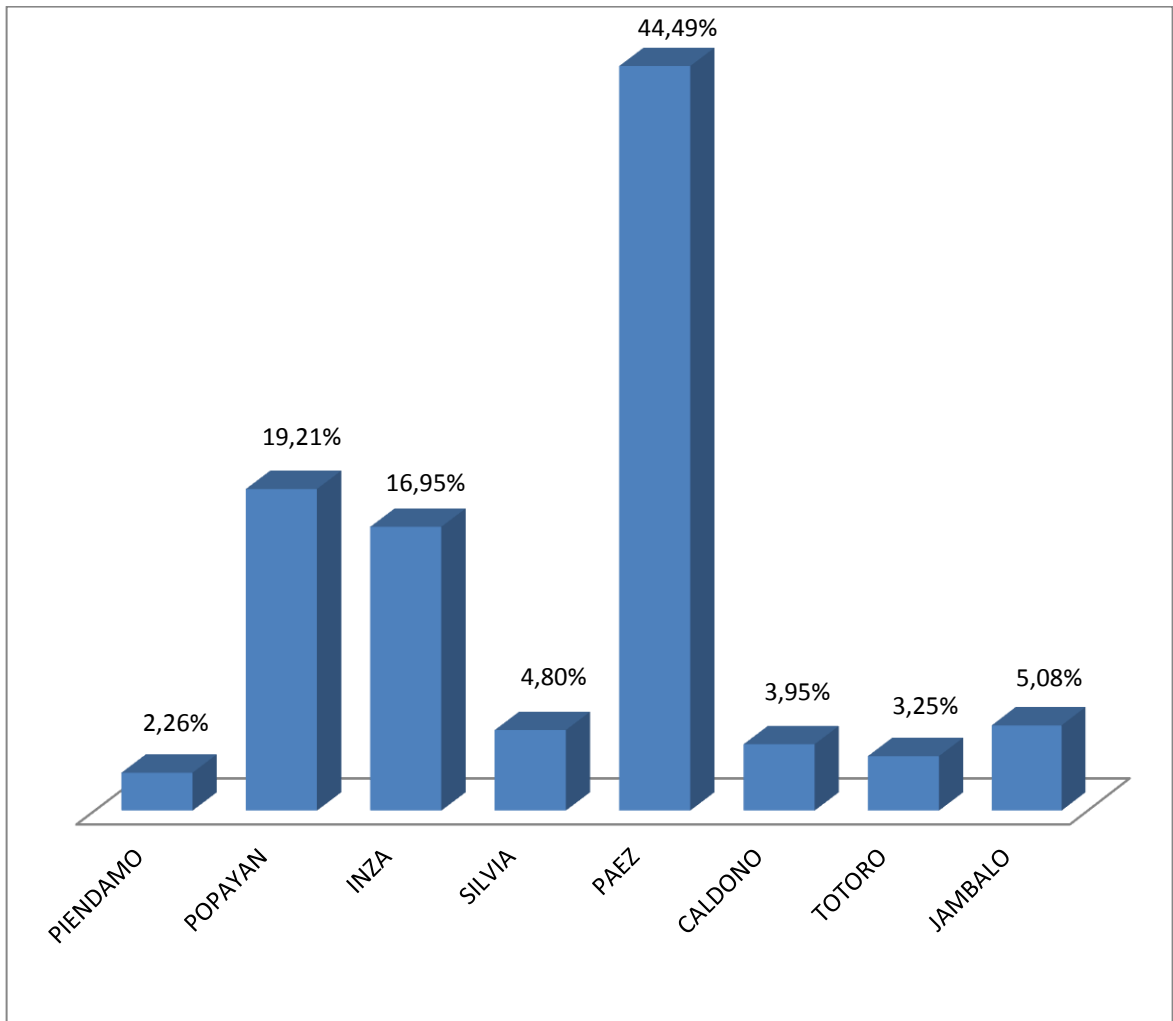
Para la realización de este proyecto de investigación se tuvo acceso a diferentes fuentes de información, consultadas en su totalidad durante el desarrollo del proyecto.

El registro histórico de movimientos en masa tomado de la base de datos del Servicio Geológico Colombiano (SGC), la plataforma histórica conocida como SIMMA (Sistema de Información de Movimientos en Masa) es la responsable de toda la información interpretada. La búsqueda se realizó desde 1900-2012, y se encontraron registros a partir de 1938.

En la plancha 343 se encontraron 708 registros históricos, de los cuales 136 se reportaron en el municipio de Popayán que corresponden al 19,21%, 120 en Inza que corresponden al 19,95%, 315 en Páez que corresponden al 44,49%, 23 en Totoro que corresponden al 3,25%, 16 en Piendamó que corresponden al 2,26, 34 en Silvia que corresponden al 4,80, 36 en Jambaló que corresponden al 5,08% y 28 en Caldonó que corresponden al 39,54% de los movimientos reportados (Gráfica 1). Cada registro corresponde con un movimiento en masa.

Los datos encontrados en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) correspondientes a estos municipios, cubiertos en gran parte por la Plancha 343-Silvia; son registros de 1938 al 2012. Todos estos movimientos en masa fueron de tipo deslizamiento, no hay claridad a cerca de qué factores y qué afectación se produjo.

Gráfica 1. Porcentaje por municipios en la plancha 343-Silvia de los movimientos en masa registrados en la base de datos SIMMA hasta el año 2012.



El primer evento del que se tiene reporte ocurrió el 26 de noviembre de 1938 en el municipio de Piendamó. La gráfica 2 muestra el porcentaje de los movimientos en masa ocurridos por década desde el año 1930 hasta el 2012.

El periodo de tiempo comprendido entre 2000-2012 presenta mayor densidad de eventos, seguido secuencialmente por la década de los 90's, lo que se debe a un aumento en la cantidad de registros en el tiempo y quizás a aumentos en la inestabilidad de los taludes.

En cuanto a estudios específicos para el área de estudio no registran información precisa de la geomorfología. En Ruíz y Marquínez (2003), se menciona que el área cubierta por la Plancha 343-Silvia presenta una alta diversidad de geoformas relacionadas con fenómenos erosivos y agradacionales, que pueden ser agrupadas en tres tipos de unidades geomorfológicas: unidades agradacionales de origen fluvial, fluviovolcánico, lacustre y glacial; unidades de origen estructural y estructural denudacional, y unidades de origen denudacional y volcánico denudacional (Figura 15).

Gráfica 2. Porcentaje por décadas de los movimientos en masa en la plancha 343-Silvia hasta el año 2012.

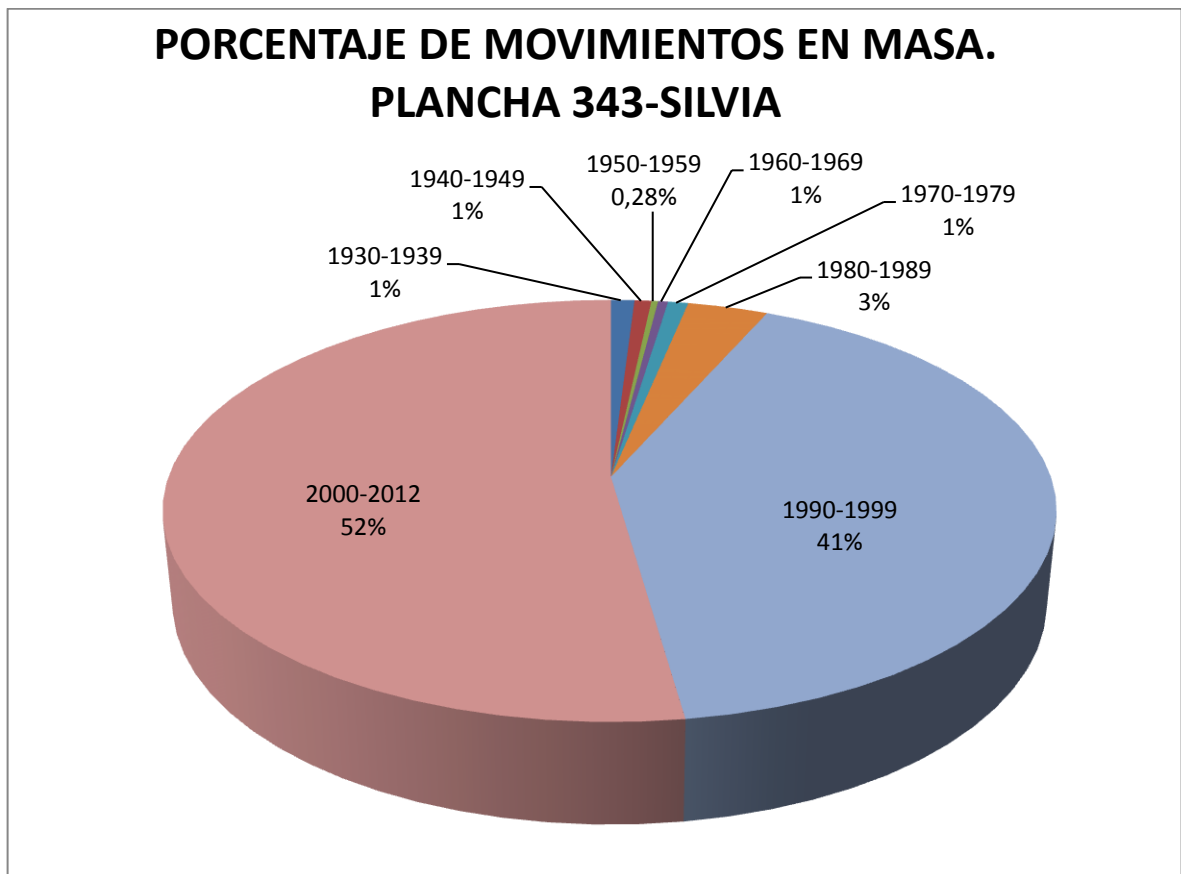
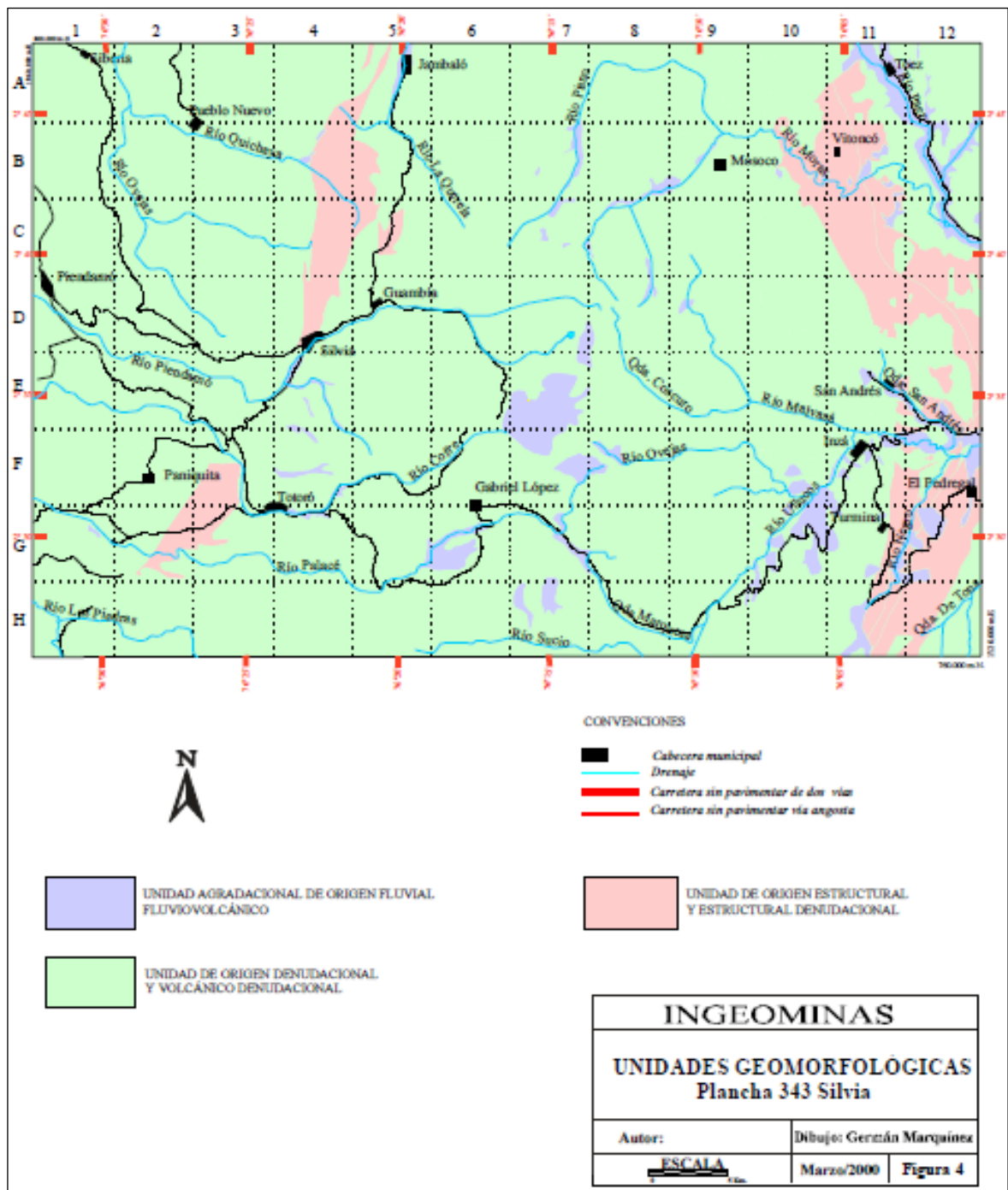


Figura 15. Unidades geomorfológicas de la memoria explicativa 343-Silvia (Ruíz & Marquínez, 2003).



9 RESULTADOS

El análisis geomorfológico para el área de la plancha 343-Silvia hace énfasis en los aspectos morfodinámicos y morfogenéticos que caracterizan y predominan en la zona.

El estudio morfodinámico incluye la caracterización de los movimientos en masa que han ocurrido en el área y que permiten dilucidar el futuro, particularmente en términos de estabilidad del terreno. La morfogénesis muestra el origen de las formas del terreno, teniendo en cuenta los procesos endogenéticos que dieron la forma al paisaje y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que han actuado sobre la superficie terrestre modelándola. A continuación se presentan los resultados que arrojó el estudio tanto del trabajo de oficina como el de campo.

9.1 MORFODINÁMICA

Como resultado de la fase de campo, se observaron y caracterizaron 35 movimientos en masa, los cuales se muestran en la tabla 6. Esta tabla contiene las coordenadas geográficas, municipio, el tipo de movimiento, el material que involucra y el tipo de daños causados por el fenómeno.

Tabla 6. Base de datos generada a partir de los movimientos en masa reportados en campo para la plancha 343-Silvia.

LATITUD (N)	LONGITUD (W)	MUNICIPIO	TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA	DAÑOS
2°26'48.7"	76°09'17.2"	Inzá (vía Gabriel López-Inzá, vereda Río sucio, sector puente que cruza el Río Sucio)	deslizamiento traslacional de detritos	Afectación moderada de la vía
2°28'06.0"	76°07'18.5"	Inzá (vía Gabriel López-Inzá, vereda Córdoba)	deslizamiento traslacional de detritos	Afectación severa de la vía

LATITUD (N)	LONGITUD (W)	MUNICIPIO	TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA	DAÑOS
2°40'51.1"	76°00'47.8"	Páez (vía Belalcazar-Corinto, vereda Chupadero, sector Las Juntas-La Cruz)	flujo de detritos	Afectación moderada de la vía
2°35'14.9"	75°59'57.2"	Páez (vía Santa Rosa-Togoima, vereda Patuche)	caída de roca	Afectación severa de la vía
2°37'49.8"	76°03'25.1"	Inzá (vía Calderas-Tumbichucue, vereda Tumbichucue)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación moderada de la vía
2°36'44.3"	76°03'48.2"	Inzá (vía San Andrés de Pisimbala-tumbichucue, sector El Mesón)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación moderada de la vía
2°29'12.9"	76°03'25.7"	Inzá (vía Turmina-Pedregal, vereda El Rincón, quebrada La Cascada)	caída de roca y detritos	Afectación leve de la vía, posible represamiento de quebrada
2°31'33.9"	76°00'19.4"	Inzá (vía San Miguel-Pedregal, sector Cerro Cruz Azul a un kilómetro de Pedregal)	caída de detritos	Afectación leve de la vía
2°32'27.5"	76°01'07.1"	Inzá (vía Inzá-Víbora-Pedregal, vereda Río Negro)	deslizamiento traslacional de detritos	Afectación moderada de la vía, agricultura (severo), cultivos (severo)
2°31'06.5"	76°06'02.2"	Inzá (vereda Mesopotamia, finca señor Olmedo)	deslizamiento traslacional de detritos	Cultivos (moderado), ganadería (severo), agricultura (moderado), torre de conducción eléctrica (total)
2°32'27.7"	76°04'13.9"	Inzá (Vía Inzá - Gabriel López, a 1 kilómetro de Inzá)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación severa de la vía, ganadería (severo), cultivos (severo), 3 viviendas (severo)

LATITUD (N)	LONGITUD (W)	MUNICIPIO	TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA	DAÑOS
2°29'24.6"	76°05'14.0"	Inzá (vía Inzá-Gabriel López, vereda El Carmen, quebrada Guanacas)	caída de roca	Afectación total de la vía
2°27'37.4"	76°12'41.8"	Inzá (vía Inzá Gabriel López, vereda Las Margaritas, sector La Esperanza)	caída de roca	Afectación leve de la vía
2°29'13.4"	76°06'50.9"	Inzá (vía Gabriel López-Inzá, vereda Córdoba, sector Tierras Blancas)	reptación	Afectación leve de la vía, ganadería (leve), cultivos (leve), torre de conducción eléctrica (leve)
2°40'32.1"	76°20'38.5"	Silvia (vereda Juanambú, quebrada Juanambú cerca a El Peñón)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación leve de la vía, represamiento de quebrada (moderado)
2°39'15.9"	76°21'50.6"	Silvia (vía Silvia-vereda Michei, quebrada Michei)	deslizamiento rotacional de tierra	Afectación severa de la vía, transporte de pasajeros (moderado), posible represamiento de quebrada.
2°38'15.5"	76°21'26.0"	Silvia (vereda Los Bujios, escuela de la vereda)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación severa de la vía, Institución educativa (severo)
2°38'57.7"	76°20'41.1"	Silvia (vereda Guambia Nueva, quebrada Agua Blanca)	deslizamiento traslacional de tierra	Represamiento de quebrada (moderado)
2°42'43.5"	76°26'21.8"	Silvia (vía Silvia-Pueblo Nuevo, vereda Loma Amarilla)	deslizamiento traslacional de tierra	Vía (severo), 2 viviendas (severo), agricultura (severo), ganadería (moderado), cultivos (moderado)
2°43'07.4"	76°26'28.9"	Silvia (vereda Loma Amarilla)	deslizamiento traslacional de tierra	Cultivos (leve)

LATITUD (N)	LONGITUD (W)	MUNICIPIO	TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA	DAÑOS
2°41'44.3"	76°19'43.9"	Silvia (vía Silvia-Jambaló, vereda Buena Vista, sector Centro Integrado De Servicios)	deslizamiento traslacional de tierra	Cultivos (moderado), ganadería (moderado), agricultura (moderado), vivienda (leve)
2°43'32.6"	76°19'26.3"	Silvia (vía Silvia-Jambaló, vereda Gargantilla, sector de Campo Alegre)	deslizamiento traslacional de tierra	Vía (total), ganadería moderado), muro de contención (total)
2°38'10.1"	76°22'24.1"	Silvia (vereda El Manzanal, finca señor Francisco)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación leve de la vía
2°38'50.0"	76°22'28.7"	Silvia (vereda El Manzanal, sector quebrada Manzanal)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación moderada de la vía, acueducto (moderado)
2°37'14.0"	76°22'27.0"	Silvia (vía Silvia - Jambaló, vereda El Tengo, sector de la quebrada los Conejos)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación leve de la vía, ganadería (moderado)
2°37'06.4"	76°23'08.5"	Silvia (vereda Las Cruces, microcuena de la quebrada El Alizal)	deslizamiento traslacional de tierra	25 viviendas (total), ganadería (moderado)
2°30'00.4"	76°16'59.5"	Totoró (vía Gabriel López-Portachuelo-Totoró, sector vereda Santa Bárbara)	reptación	Agricultura (moderado)

LATITUD (N)	LONGITUD (W)	MUNICIPIO	TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA	DAÑOS
2°42'26.7"	76°29'59.6"	Caldono (vía Usenda-La Siberia, vereda La Esperanza, sector La Montana)	deslizamiento traslacional de tierra	Cultivos (leve), agricultura (leve)
2°32'56.6"	76°28'05.6"	Totoró (vía Paniquitá-Totoro, vereda Buenavista)	deslizamiento traslacional de tierra	Ganadería (moderado), agricultura (moderado)
2°33'46.6"	76°28'18.4"	Totoró (vía Paniquitá a vía Panamericana, vereda Hato Viejo)	deslizamiento traslacional de tierra	Cultivos (total), agricultura (total), ganadería (total), vía (leve)
2°30'52.8"	76°30'58.2"	Totoró (vía Popayán-Totoro, vereda Palace, sector El Porvenir)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación leve de la vía
2°29'50.5"	76°28'06.3"	Totoró (vía Popayán-Totoro, vereda San Antonio)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación leve de la vía
2°30'15.2"	76°26'13.2"	Totoró (vía Popayán-Totoro, entre las veredas San Antonio y La Palizada)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación leve de la vía
2°29'27.4"	76°26'48.0"	Totoró (vía vereda San Antonio-vereda El Hatico)	deslizamiento traslacional de tierra	Afectación leve de la vía
2°26'39.7"	76°30'02.3"	Popayán (vereda Las Piedras)	deslizamiento traslacional de tierra	

9.1.1 Movimientos observados. Teniendo en cuenta la distribución de los movimientos en masa observados el área de la plancha 343-Silvia, en el departamento del Cauca se dividió por municipios. Según este criterio se pudieron establecer 3 zonas: la zona perteneciente a los municipios de Inzá y Páez, la zona de los municipios de Totoró y Popayán y la zona que corresponde a los municipios de Silvia, Piendamó, Caldono y Jambaló. Cabe mencionar que en los municipios de Piendamó y Jambaló no se observaron movimientos. A continuación se describen las principales características de los movimientos en cada sector.

9.1.1.1 Zona Inzá-Páez. Los movimientos que se observaron en esta zona corresponden al 40 % de los movimientos reportados, de los cuales 7 son deslizamientos traslacionales de tierras y detritos; 5 caídas de roca y detritos, 1 de reptación y 1 que corresponde a un flujo. Los movimientos en masa se desarrollan en diversos tipos de roca (ígneas, metamórficas, sedimentarias) y sobre suelo residual. Entre las principales causas que producen los movimientos están el factor lluvia y el fracturamiento que presentan las rocas. La mayoría de los movimientos que se encuentran a lo largo de la vía Gabriel López-Inzá son efecto directo de la pavimentación y ampliación de la vía y presentan una influencia alta de las fallas que cruzan la región (Figura 18).

En las veredas Córdoba y Guanacas se presentan deslizamientos de grandes dimensiones que afectan severamente la vía. El deslizamiento en la vereda Córdoba tiene aproximadamente 700 metros de ancho y 1300 metros de longitud total (Figura 16), y el que se presenta en la vereda Guanacas es de aproximadamente unos 250 metros de ancho por 430 metros de longitud total. También se presentan movimientos a lo largo de las vías Inzá-Belalcazar, Inzá-Pedregal, Inzá-vereda calderas y Belalcazar-Corinto. El área norte de esta zona a lo largo del Río Páez, es propensa a inundaciones especialmente en temporadas de lluvias fuertes y es susceptible a movimientos de avalancha, flujos puntuales (Figura 17) y flujo de escombros generados por actividad del Volcán Nevado del

Huila. Esta es considerada zona roja según el mapa nacional de amenazas del Complejo Volcánico Nevado del Huila (INGEOMINAS - Nasa Kiwe, 1996).

Figura 16. Deslizamiento traslacional de detritos en la vereda Córdoba.



Figura 17. Flujo de detritos en la ladera oeste del Río Páez, zona Las Juntas-La Cruz, vereda Chupadero.



Figura 18. Caída de roca sobre la vía Gabriel López-Inza, vereda Las Margaritas.



9.1.1.2 . Zona Totoró-Popayán. Los movimientos en el área comprendida por los municipios de Popayán y Totoro comprenden el 22,86% de los movimientos en masa registrados. Se encontraron 8 movimientos en la zona: 7 deslizamientos traslacionales de tierra y 1 solo de reptación de suelos. La vía Totoro-Popayán se encuentra afectada por numerosos deslizamientos de tierra de dimensiones no cartografiables y que afectan la vía. A los alrededores de Paniquitá, en las veredas de Buenavista y Hato Viejo (Figura 19), se presentan dos deslizamientos de dimensiones considerables que afectan vías. Los demás deslizamientos se presentan en las veredas de San Antonio, Palace y Palizada en el municipio de Totoro; y en la vereda la laguna en el municipio de Popayán. La reptación de suelos se presenta en el sector de la caldera de Gabriel López en la vereda Santa Bárbara sobre suelos con alto contenido de materia orgánica de origen glaciolacustrino.

Figura 19. Deslizamiento traslacional de tierras en la vía Paniquitá Piendamó.



Figura 20. Deslizamiento traslacional de tierras con desarrollo de erosión en surcos.



9.1.1.3 Zona Silvia-Piendamó-Caldono-Jambaló. Dentro de esta zona se identificaron 13 movimientos en masa que representan el 37,14% de los movimientos reportados en la plancha. 12 de ellos fueron identificados como deslizamientos traslacionales de tierra y 1 deslizamiento rotacional de tierra. Los eventos se produjeron sobre suelos residuales de material plástico débil y colapsible a causa de la lluvia en temporadas invernales.

Al norte del casco urbano de Silvia se observaron gran densidad de deslizamientos traslacionales, en su mayoría generados por la explotación artesanal de arcilla producto de la alteración de rocas volcánicas pertenecientes al Complejo Quebradagrande, la cual es utilizada para la fabricación de ladrillo. Otros deslizamientos asociados a intensas lluvias se presentan en la microcuenca de la Quebrada Juanambú (Figura 21). Estos deslizamientos al norte del casco urbano de Silvia se generan principalmente sobre el Sistema de Fallas Romeral, afectando en gran medida a viviendas e infraestructura vial.

Un deslizamiento de aproximadamente 560 m de ancho por 1000 m de largo que se presenta al suroccidente del casco urbano de Silvia, en la vereda Las cruces, sector de la quebrada El Alizal, afecta alrededor de 25 viviendas del sector y se alcanza a extender sobre el barrio Boyacá. El deslizamiento se presenta como un enjambre sobre la microcuenca de la Quebrada El Alizal. Un deslizamiento rotacional que afecto la vía Silvia-Jambaló severamente se evidencio en el sector de la Quebrada Michei (Figura 22), este deslizamiento podría causar represamiento de la quebrada a medida que el movimiento de material se vaya reactivando.

La mayoría de los movimientos en esta zona registran erosión en surcos y el uso del suelo es principalmente ganadería y agricultura. En los municipios de Caldono, Cajibío, Piendamó y Jambaló no se lograron observar movimientos en masa.

Figura 21. Deslizamiento traslacional de tierra. Quebrada Juanambú, sector El Peñol.

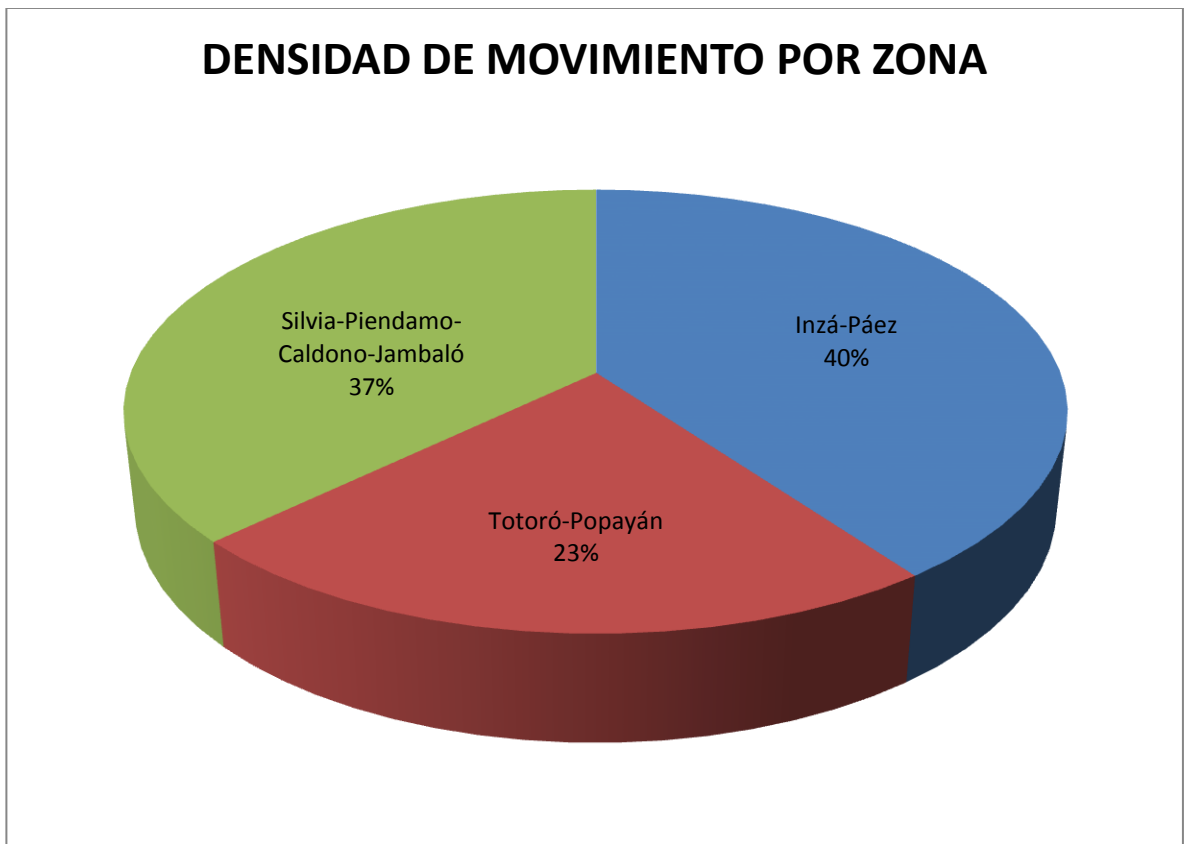


Figura 22. Deslizamiento rotacional vereda Manchei en Vía Silvia-Jambaló, Quebrada Manchei.



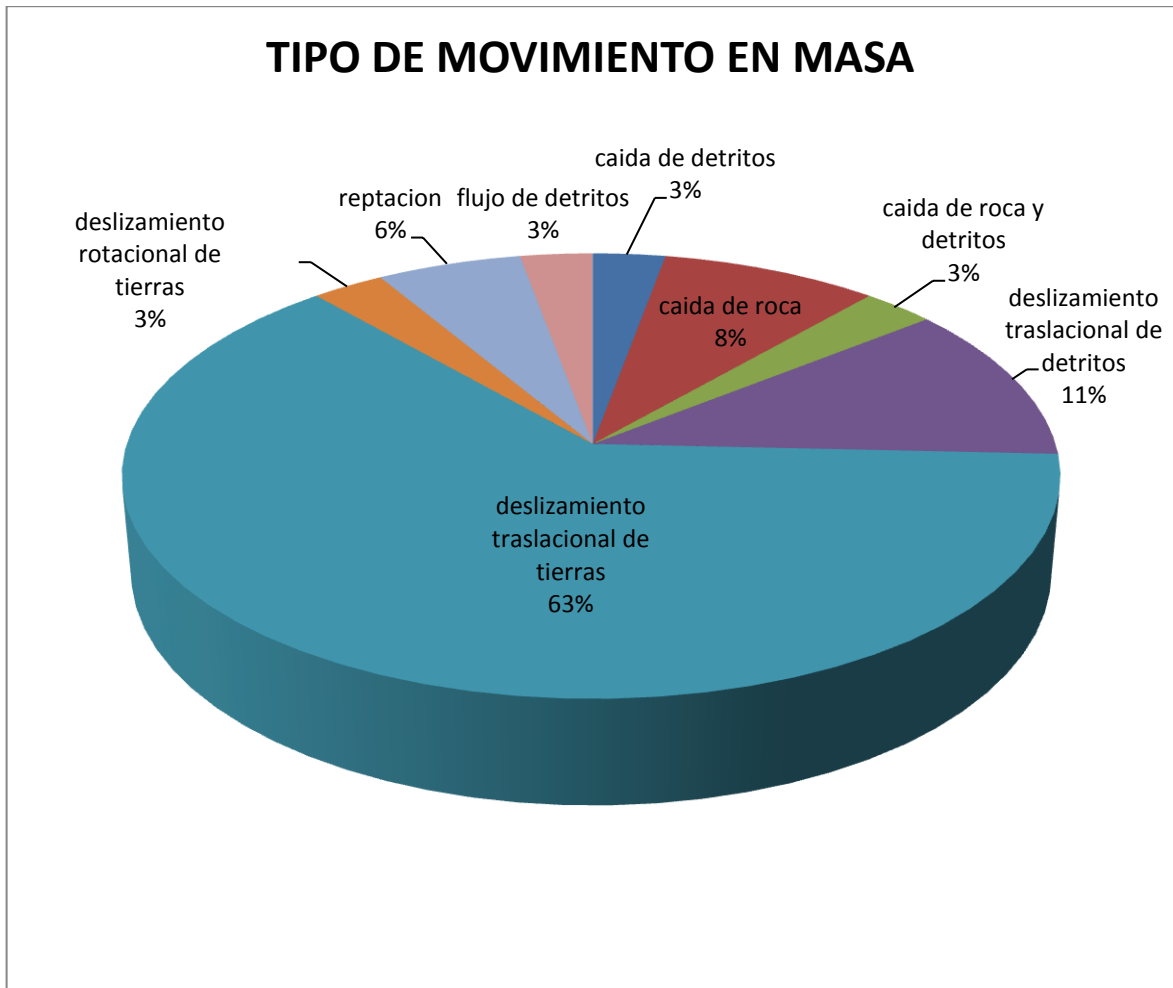
9.1.2 Indicadores estadísticos morfodinámicos. Las características litológicas y geomorfológicas en las diferentes zonas cambian y hacen que algunos sectores sean más vulnerables a presentar movimientos en masa que otros (Gráfica 3). Las unidades en las que más se presentan movimientos en masa es la formación Popayán.

Gráfica 3. Densidad de movimientos presentes en la plancha 343-Silvia por zonas.



En la gráfica 4 Distribución de la densidad de movimientos en masa según su mecanismo se tiene como resultado que los movimientos encontrados son en su mayoría deslizamientos traslacionales de tierra, seguidos por deslizamientos de detritos y caída de roca.

Gráfica 4. Distribución de la densidad de movimientos en masa según su mecanismo.



Los eventos que se observaron en la recolección de información fueron movimientos con estado activo o reactivado, debido a que son movimientos que están representando posibles daños futuros. La gráfica 5 refleja que hay más nuevos movimientos que movimientos en sitios donde ya había ocurrido algún evento. Esta información nos permite tener en cuenta sitios que representan un problema constante de movimientos en masa y otros que se están activando debido a la influencia del hombre.

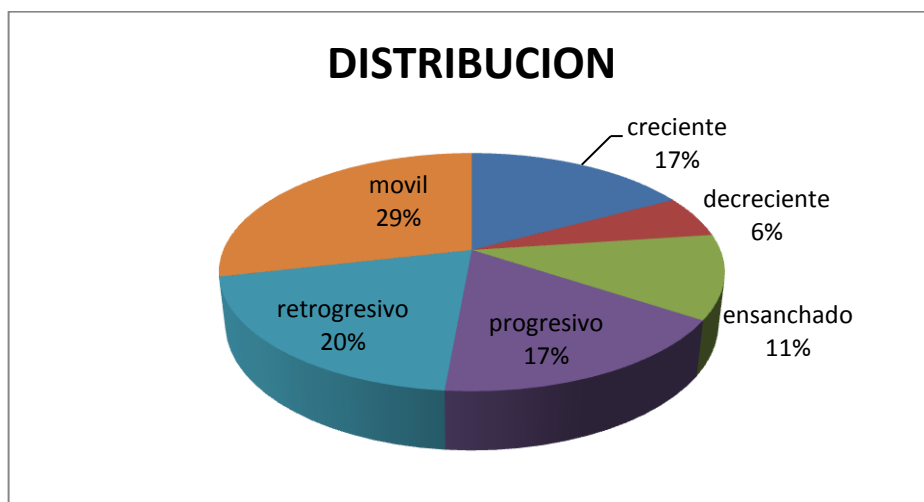
Gráfica 5. Distribución de la densidad de Estado de la actividad de movimiento.



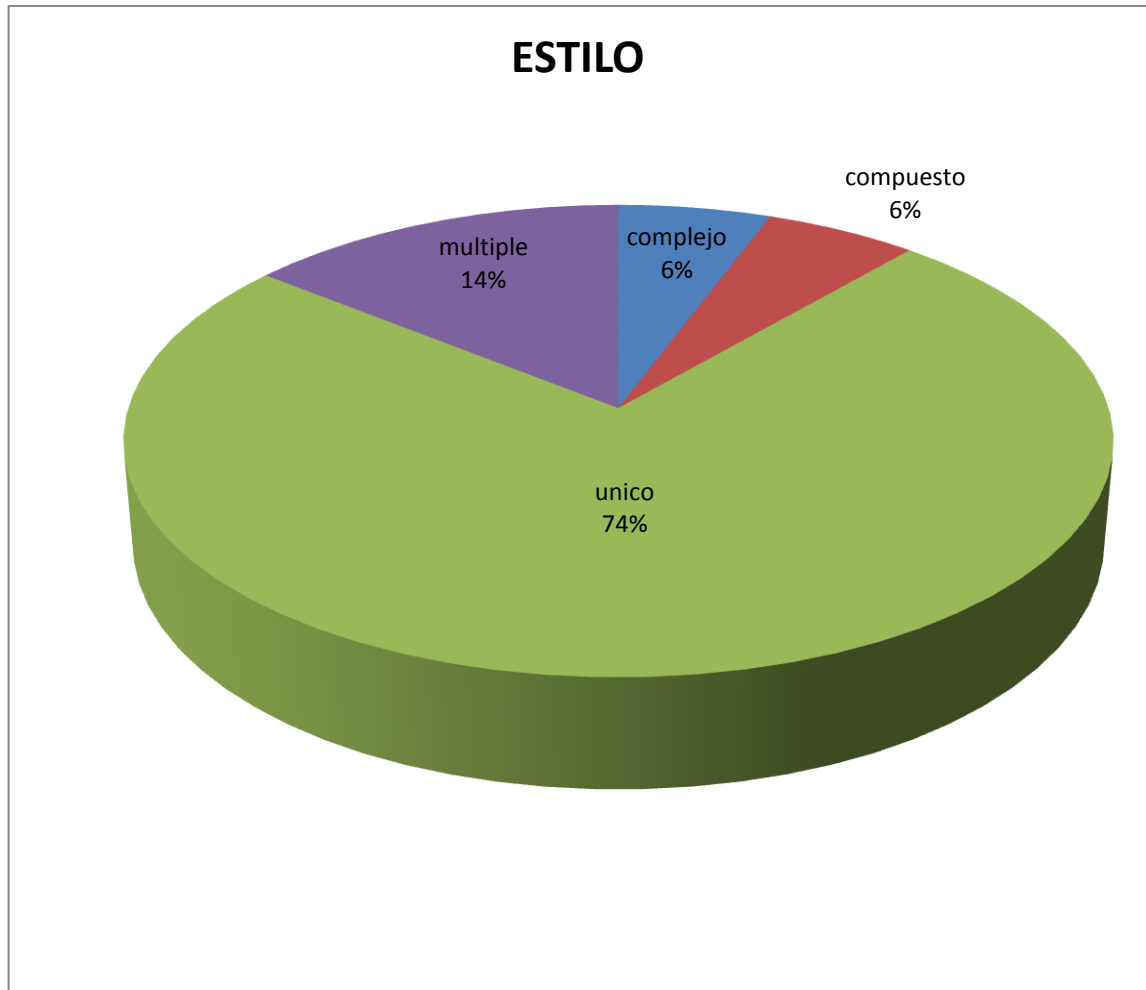
Se encontró que la mayoría de los movimientos son de distribución móvil (29%) puesto que presentan crecimiento en más de una dirección, otra gran parte son retrogresivos (20%), crecientes (17%), progresivos (17%) y ensanchados (11%) unos pocos son decrecientes (Gráfica 6).

En cuanto al estilo de las actividades, la mayor parte son Único (74%) ya que el desplazamiento o movimiento del material involucra una sola dirección. También se presentan varios movimientos de estilo múltiple (14%), complejo (6%) y compuesto (6%). Estos son los parámetros para definir la actividad de movimiento (Gráfica 7).

Gráfica 6. Distribución de la actividad de movimiento.

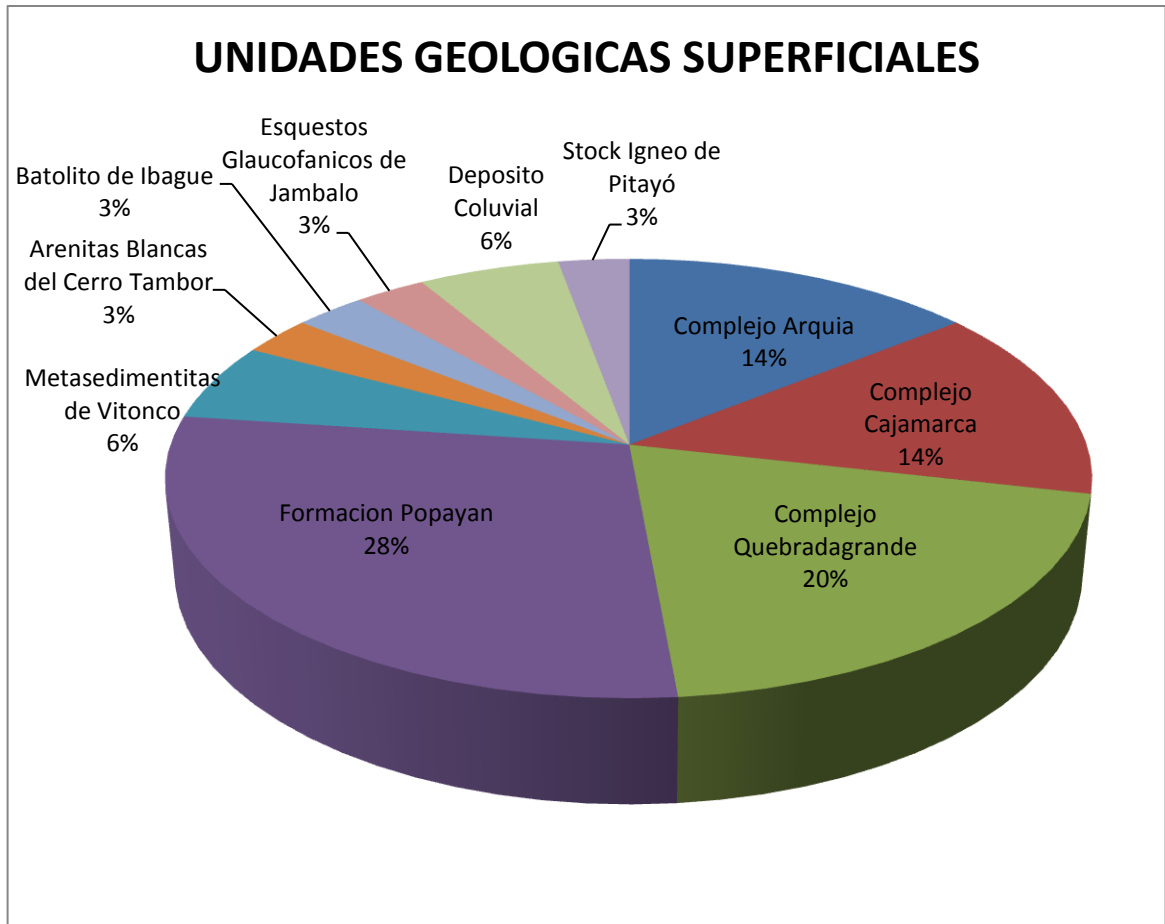


Gráfica 7. Distribución de la densidad de Estilo de la actividad de movimiento.



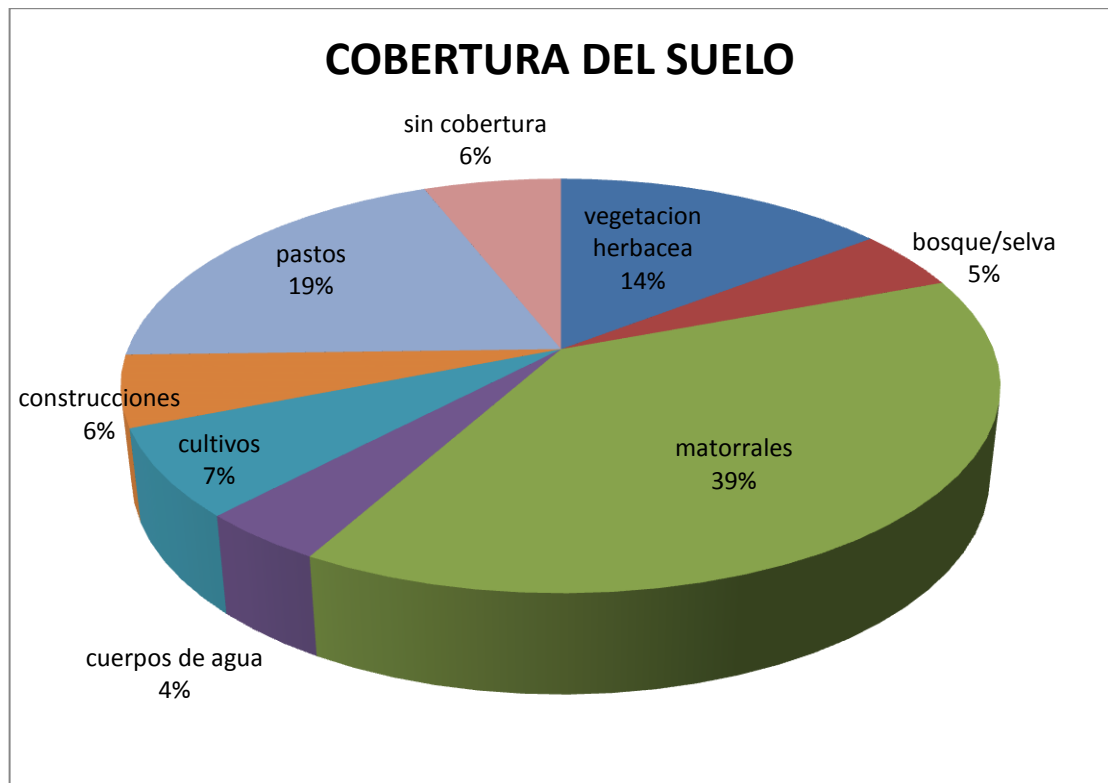
Las unidades geológicas superficiales encontradas en el área de la Plancha 343-Silvia son unidades sedimentarias, ígneas y metamórficas que van del paleozoico hasta el cuaternario. También se presentan cuerpos de agua entre las que hay lagunas de origen glacial que proveen a las quebradas y ríos principales y secundarios. En la captura de información realizada en la plancha se encontró que la formación Popayán presenta la mayor concentración de movimientos en masa (Gráfica 8), y por lo tanto la más susceptible a estos eventos.

Grafica 8. Unidades geológicas aflorantes en la Plancha 343-Silvia.

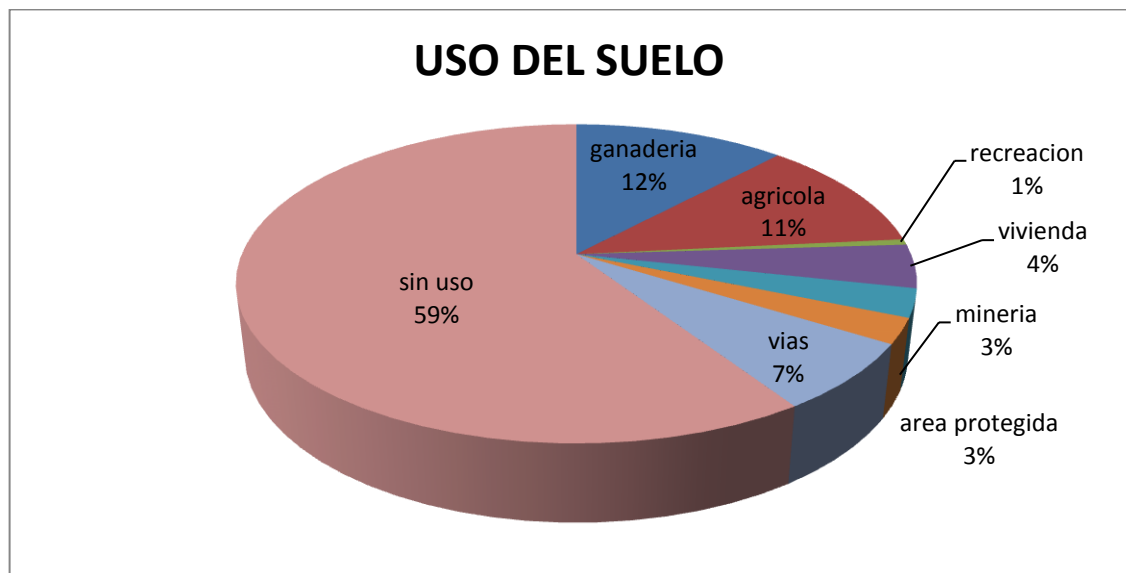


La cobertura de suelo en las áreas con movimiento en masa en la Plancha 343-Silvia muestra como gran parte de las áreas en las que se observaron deslizamientos el 39% tienen cobertura vegetal de matorrales; el 19% registró pastos, la vegetación herbácea tiene un 14%, cultivos 7%, sin cobertura y construcciones 6%, bosques 5% y cuerpos de agua 4% (Gráfica 9). También, se muestra como el 59 % no tiene uso de suelo. La ganadería y la agricultura tienen un 12% y 13% respectivamente y solo el 7% representa vías, vivienda 4%, área protegida y minería 3% y solo el 1% del uso del suelo es para recreación. Estas características se muestran en la gráfica 10.

Gráfica 9. Distribución de la cobertura de suelo en las áreas con movimiento en masa.

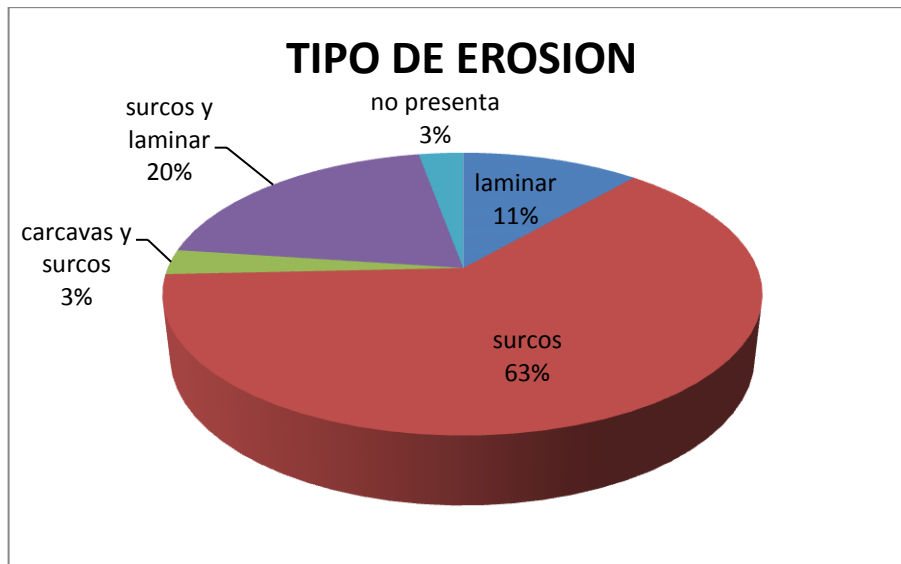


Gráfica 10. Distribución del uso de suelo en las áreas con movimientos en masa.



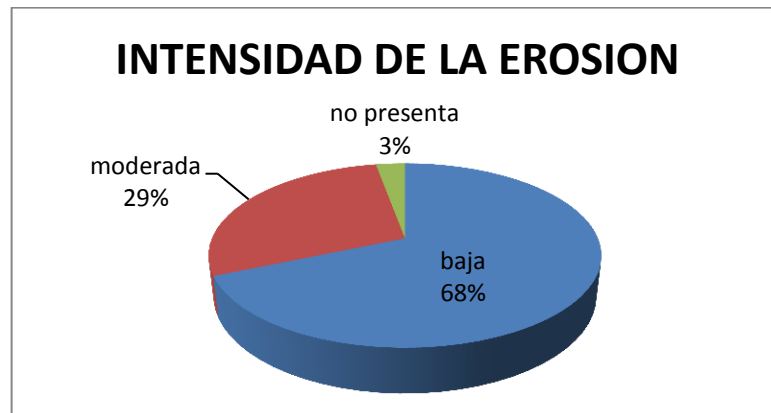
Algunos movimientos en masa que se presentan en la Plancha 343-Silvia desarrollan fenómenos de erosión. Un 63% de los movimientos en masa registrados presentan erosión en surcos. El 20% presenta 2 tipos de erosión: surcos y laminar. El 11% registra erosión laminar y solo el 3% experimenta erosión en surcos y cárcavas. El 3% de los movimientos en masa no presenta erosión de ningún tipo, Gráfica 11.

Gráfica 11. Erosión activa en el área de influencia de los movimientos en masa.



La intensidad de la erosión se muestra en la gráfica 12. El 68% de los movimientos desarrolla erosión baja y el 16% erosión moderada.

Gráfica 12. Distribución del grado de intensidad de erosión.

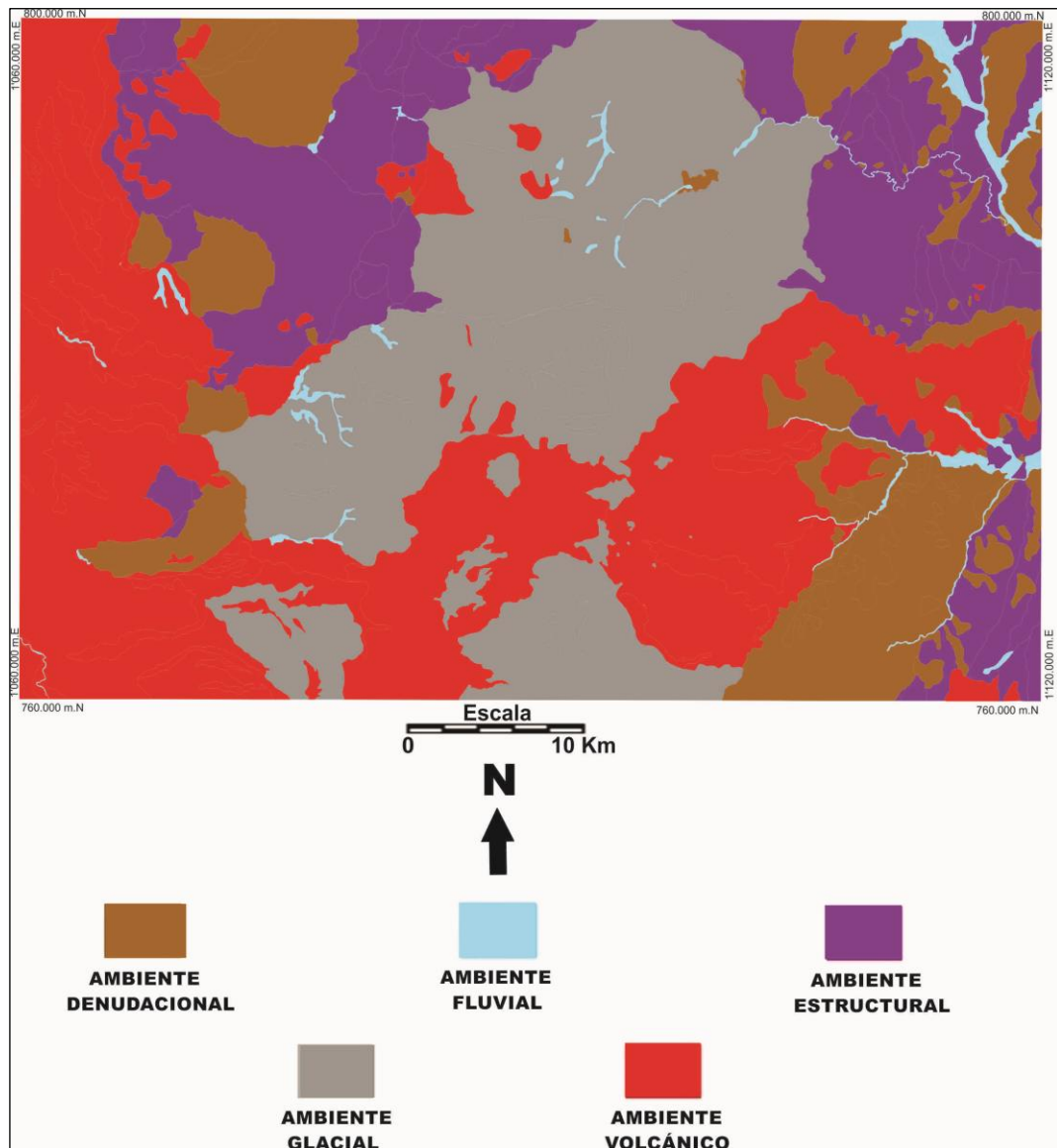


9.2 MORFOGÉNESIS

Los principales ríos que drenan el área, como Moras, Ullucos, Malvasá, Piendamó, Negro, Páez y Palacé, así como corrientes menores, presentan un fuerte control estructural que caracteriza el drenaje de la región (Ruiz & Marquínez, 2003).

La plancha 343-Silvia se caracteriza por presentar geoformas asociadas a cinco ambientes geomorfológicos: geoformas de origen denudativo distribuidas mayoritariamente al este y oeste la plancha, asociadas a zonas planas y de poca inclinación con predominio de sierra denudada (Dsd) y Cono y lóbulo coluvial de solifluxión (Dco); geoformas de origen estructural distribuidas al E y al NE de la población de Silvia y el municipio de Jambaló, con predominio de Sierra homoclinal (Ssh) y Lomo de falla con faceta triangular (Slft), constituidas por rocas del paleozoico, cretácico y neógeno; geoformas de origen volcánico a lo largo de todo el flanco oriental de la Cordillera Central, al W de la plancha y en el área de la antigua caldera de Gabriel López, con predominio de Flujo de lava (Vfl) y Manto de piroclastos (Vmp), del neógeno y cuaternario; geoformas de origen glacial que se encuentran en el área central de la plancha siguiendo el eje de la cordillera con predominio de Flujo volcánico glaciado (Gfv) y Sierra homoclinal glaciada, pertenecientes a rocas del paleozoico y neógeno; y geoformas de origen fluvial representadas por las unidades Cauce aluvial (Fca), Terraza de acumulación (Fta), Escarpe de terraza de acumulación y Plano o llanura de inundación (Fpi), distribuidas en toda la plancha a lo largo de ríos y quebradas y en mayor proporción al Este de la zona de estudio (ver figura 23).

Figura 23. Mapa de ambientes morfogenéticos de la plancha 343.



El porcentaje de distribución de las geoformas por ambiente comprende un 15.23% para las geoformas de origen denudativo, 20.63% para las geoformas de origen estructural, 34.18% para las geoformas de origen volcánico, 28.44% para las geoformas de origen glacial y 1.52% para las geoformas de origen fluvial (Tabla 7).

Tabla 7. Cuadro de las Unidades geomorfológicas definidas en la plancha 343-Silvia, con sus respectivas áreas y porcentajes.

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS PLANCHA 343 SILVIA					
Ambiente	Unidad	Codigo	Area (m ²)	Porcentaje (%)	Porcentaje de Ambiente
FLUVIAL	Cauce aluvial	Fca	8629939,54	0,36%	1,52%
	Terraza de acumulación	Fta	12510083,94	0,52%	
	Escarpe de terraza de acumulación	Ftae	757531,21	0,03%	
	Plano o llanura de inundación	Fpi	14677284,43	0,61%	
DENUDACIONAL	Colina residual disectada	Dcrd	14818263,89	0,62%	15,23%
	Cono o lobulo de deslizamiento traslacional	Ddtr	964595,98	0,04%	
	Cono o lobulo de flujo de lodo	Dlfl	6465864,8	0,27%	
	Cono y lobulo coluvial y de soliflucción	Dco	46502103,85	1,94%	
	Escarpe de erosión mayor	Deem	3724758,57	0,16%	
	Ladera erosiva	Del	33594778	1,40%	
	Lomo denudado	Dld	23219764,56	0,97%	
Sierra denudada	Dsd	236698201,99	9,85%		
GLACIAL	Conos glaciofluviales	Gcgf	8200247,33	0,34%	28,44%
	Espolón estructural glaciado	Gee	75911300,43	3,16%	
	Flujo volcánico glaciado	Gfv	420463565,06	17,50%	
	Laguna glacial	Glg	611251,89	0,03%	
	Plano glaciolacustrina	Gpgl	35887660,32	1,49%	
	Sierra homoclinal glaciada	Gshg	142329485,43	5,92%	
ESTRUCTURAL	Cerro estructural	Sce	16990984,16	0,71%	20,63%
	Espolón	Ses	12852990,39	0,53%	
	Espolon festoneado	Sefes	18716414,48	0,78%	
	Espolon facetado	Sefc	20959175,48	0,87%	
	Gancho de flexion	Sgf	8466029,48	0,35%	
	Ladera contrapendiente	Slcp	10120000,52	0,42%	
	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Sshlc	47703625,13	1,99%	
	Ladera estructural	Sle	8731223,91	0,36%	
	Ladera estructural de sierra homoclinal	Sshle	57756423,92	2,40%	
	Lomo de falla	Slf	27197954,70	1,13%	
	Lomo de falla con faceta triangular	Slft	36210982,42	1,51%	
	Lomo de obturación	Slo	2158095,06	0,09%	
	Plano aluvial confinado	Svc	5464488,98	0,23%	
Sierra homoclinal	Ssh	222376913,69	9,25%		
VOLCÁNICO	Cono lahárico	Vcl	8271607,23	0,34%	34,18%
	Escarpe de flujo de lava	Vfle	125571744,55	5,23%	
	Flujo de lava	Vfl	240218695,48	10,00%	
	Flujo lahárico aterrazado	Vfla	1013709,23	0,04%	
	Flujo piroclástico aterrazado	Vfp	4894378,27	0,20%	
	Manto de piroclastos	Vmp	441279379,82	18,36%	

A continuación se describe cada ambiente geomorfológico con sus respectivas unidades geomorfológicas.

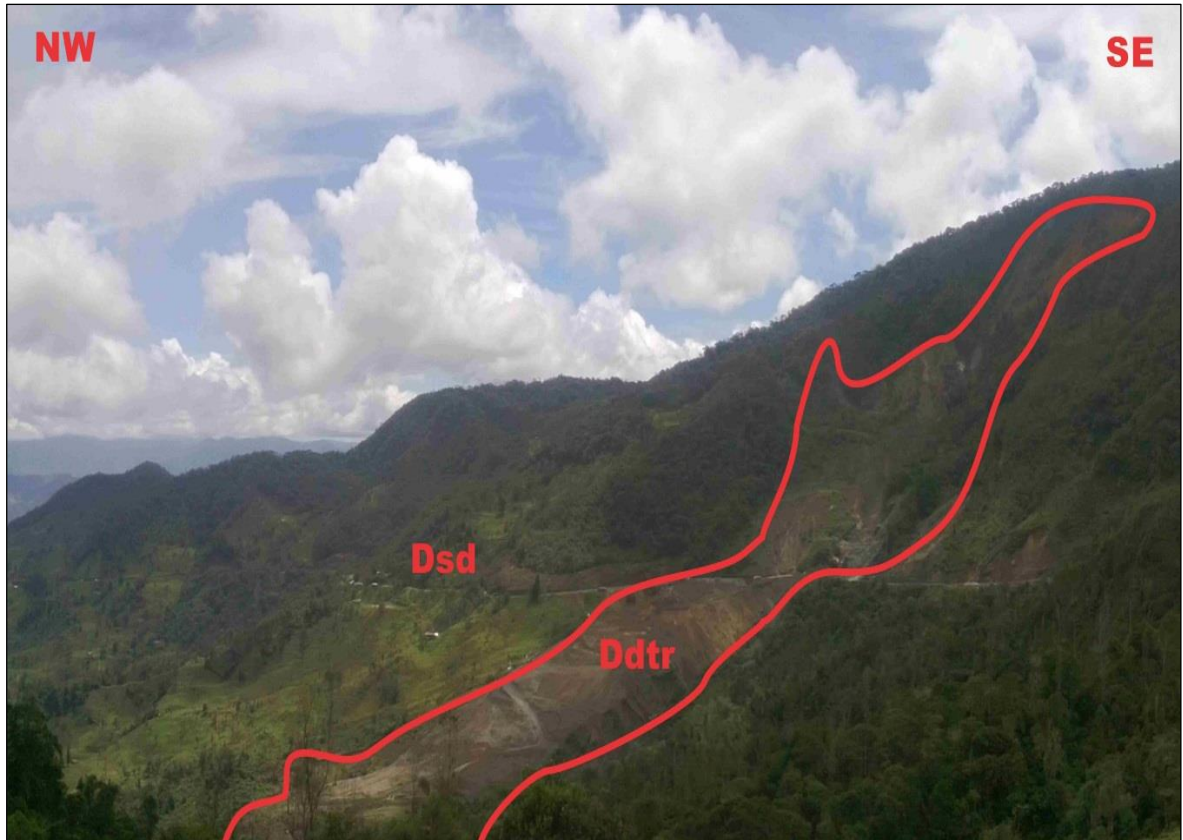
9.2.1 Geformas de origen denudacional. El ambiente Denudacional se refiere a todas las áreas asociadas a la erosión, saturación del suelo, altas pendientes y movimientos de suelo. Se incluyen las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción de procesos de degradación, meteorización, movimientos en masa y erosión, y procesos de agradación o acumulación, este proceso es una consecuencia inevitable de la degradación y contribuye a la nivelación general de la superficie terrestre. Las unidades denudacionales se han creado a partir de geoformas morfoestructurales, las cuales han sido modeladas por procesos exógenos. Entre estas geoformas se han diferenciado en la plancha 343-Silvia las siguientes:

9.2.1.1 Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional (Ddtr). Cono o lóbulo, de morfología plana a suavemente ondulada, de rocas y tierra que involucra movimiento a lo largo de una superficie de falla más o menos planar. El movimiento es controlado por planos rocosos someros de debilidad y detritos suprayacentes. Presenta drenajes paralelos y subparalelos de textura media y densidad moderada.

Al nororiente del casco urbano de Silvia la unidad se localiza dentro de la geoforma sierra homoclinal (Ssh), en esquistos verdes y metabasitas del Complejo Arquía y es controlada estructuralmente por el trazo del Sistema de fallas Romeral. En las veredas Córdoba y Guanacas estas geoformas se desarrollan dentro de la unidad Sierra denudada (Dsd) y están estructuralmente controladas por la falla Inzá. La unidad en la vereda Córdoba tiene aproximadamente 700 metros de ancho y 1300 metros de longitud total (Figura 24), y el que se presenta en la vereda Guanacas aproximadamente de 250 metros de ancho y 430 de longitud total. Litológicamente en este sector la unidad se constituye de depósitos coluviales. El fuerte control estructural en estas geoformas genera gran

inestabilidad de laderas, acelera la erosión y meteorización de las unidades y produce grandes movimientos en masa.

Figura 24. Unidad Cono o Lóbulo de Deslizamiento Traslacional (Ddtr).



9.2.1.2 Cono o lóbulo de flujo de lodo (Dlfl). Lóbulos de flujo alomados, con laderas rectilíneas de longitudes cortas a muy largas, que se presentan siguiendo drenajes fluviales. Se presentan conformando abanicos con superficies ligeramente onduladas. Están constituidos de fragmentos de arenisca, piroclastitas, rocas ígneas intrusivas y madera, embebidos en una matriz areno arcillosa. Se localizan al oriente de la plancha presentándose el más importante en el corregimiento de El Pedregal (Figura25).

Figura 25. Unidad Cono o Lóbulo de Flujo de Lodo (Dlfl), en la población de El Pedregal. Tomado y modificado de Google Earth.



9.2.1.3 Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco). Geofoma de lóbulos alomados bajos, con pendientes inclinadas (6° - 10°) a muy inclinadas (11° - 15°), con índice de relieve bajo, laderas cortas a moderadamente largas de forma convexa a rectas. Se originan por procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas generalmente de forma cóncava y por efecto de procesos hidrogravitacionales. Esta geofoma presenta suelos con profundidades que varían entre 100 – 150 cm y poseen el nivel freático siempre por debajo de 80 cm, están constituidos por bloques de rocas ígneas y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz arcillosa a arena limo arcillosa.

Esta geofoma se localiza al oriente de la plancha y asociada principalmente con las cuencas de los ríos Páez, Negro y Ullucos, y en la vertiente occidental del Río Páez (sector La Cruz). Gran densidad de unidades al SE de la plancha en sierra denudada, ladera de contrapendiente de sierra homoclinal y ladera estructural de sierra homoclinal. Se desarrolla principalmente en depósitos Coluviales

compuestos por bloques angulosos de rocas metamórficas, sedimentarias, metasedimentarias, piroclásticas e ígneas., Presenta movimientos en masa tipo caída de roca y detritos de 100 metros de ancho por 60 metros de largo en la vía Inzá y Gabriel López, sector de la vereda El Carmen.

9.2.1.4 Sierra desnuda (Dsd). Sierra elongada de morfología montañosa, cimas agudas y subredondeadas, sus laderas son largas a muy largas, de forma recta a convexa, de pendientes abruptas a escarpadas, asociadas en su mayoría a rocas ígneas graníticas pertenecientes al Batolito de Ibagué que afloran en las vertientes del Río Páez, al sur y al W de la población de Inzá (Figura 26), en rocas metamórficas del complejo Cajamarca y al norte de Mosoco en los pórfidos andesíticos de Mosoco. También se encuentra en rocas del Complejo Arquía al NE de la población de Pueblo Nuevo y al E en el Cerro La Palma y Loma Campanario. El patrón de drenaje dendrítico, paralelo y subparalelo. Se observan gran número de movimientos en masa tipo flujos y deslizamientos traslacionales y rotacionales. La unidad limitada por los ríos Ullucos y Negro desarrolla gran densidad de depósitos coluviales denominados Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco).

Figura 26. Unidad Sierra Desnuda (Dsd), sector del caserío Turmina.



9.2.1.5 Colina residual disectada (Dcrd). Geoforma de cimas redondeadas y amplias de laderas cortas a moderadamente largas de forma convexa y pendiente muy inclinada a muy abrupta, con índice de relieve bajo a moderado. Estas geoformas son originadas por periodos de denudación cuya configuración se halla estrechamente ligada a los factores litológicos locales y se asocian a rocas que han sido afectadas por tectonismo asociado a las fallas Popayán y Las Estrellas. Estas geoformas se distinguen por su ligero grado de disección de las vertientes del Río Piendamó, quebrada Chero y quebrada Domingullo porque se han desarrollado sobre un substrato rocoso relativamente blando (fracturado) y suelos residuales, siendo favorecidas por una red de pequeñas quebradas que drenan las aguas de escorrentía hacia las zonas topográficamente más bajas.

9.2.1.6 Escarpe erosión mayor (Deem). Ladera rectilínea y localmente cóncava que alcanza los 930 metros de longitud desarrollado por acción de la erosión fluvial del Río Salado. Desarrolla drenajes paralelos de textura fina y localmente presenta erosión en surcos. Se encuentra al N de la población Pueblo Nuevo en el NE de la plancha y se genera sobre esquistos verdes de la mina pertenecientes al Complejo Arquía.

9.2.1.7 Ladera erosiva (Die). Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas y surcos sobre materiales de suelo y roca.

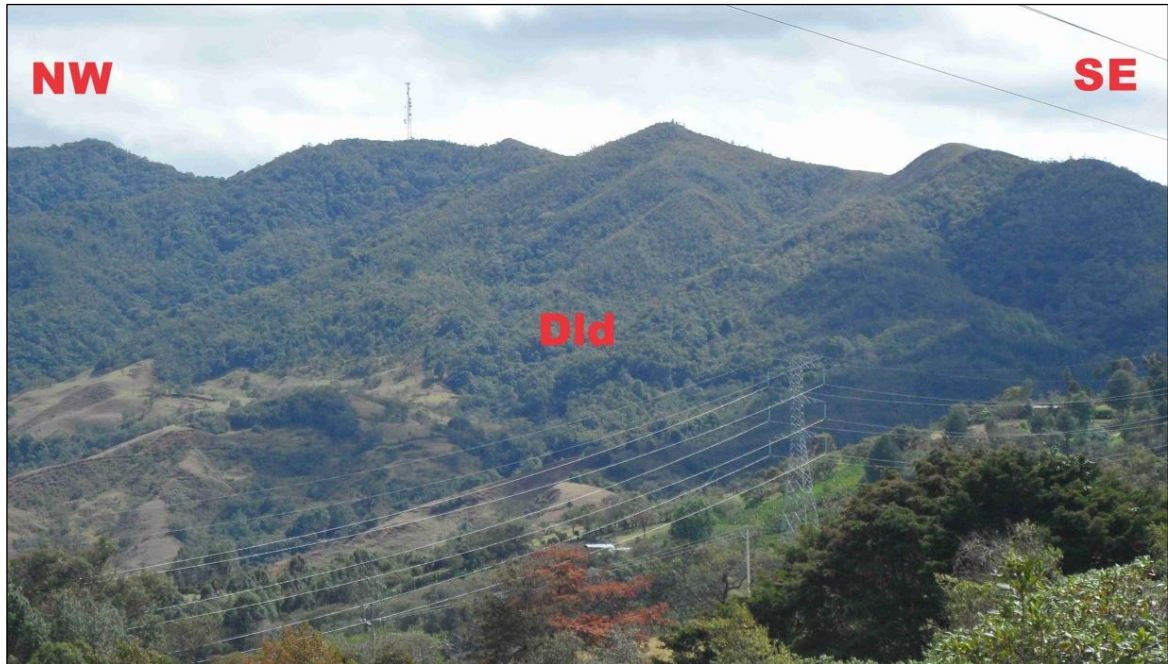
Se localizan al NE de la plancha en la vertiente oeste del Río Páez (entre caserío Huila y vereda Taravira); en el sector de bosques de Coscuro y en las vertientes S y SE de las quebradas Coquiva y Chinas respectivamente. En el sector Bosques de Coscuro alcanza laderas extremadamente largas (casi 4 kilómetros de longitud) y se encuentra limitada por la falla Paso de Bobo. Otras fallas que afectan esta geoforma son la Tálaga, Tóez, Inzá, Santa Rosa, Río Simbola. La unidad ubicada

al NE de la plancha se encuentra afectada por el desarrollo de flujos de tierra y detritos. Litológicamente son rocas ígneas del batolito de Ibagué; esquistos, cuarcitas y filitas del Complejo Cajamarca; Metasedimentitas de Vitoncó, calizas y limolitas del La Formación Cochiyú y depósitos volcánicos de la formación Popayán.

9.2.1.8 Lomo desnudado (Dld). Prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología elongada que alcanza los 12 kilómetros de longitud. Presenta laderas irregulares moderadamente largas a muy largas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas. Estas geoformas han sido desgastadas y modeladas por los procesos denudacionales intensos. Se caracteriza por presentar movimientos en masa y procesos erosivos intensos. Se encuentra disectado por drenajes subparalelos que generan un conjunto de lomos no mayores a 80 metros de altura, que se desarrollan perpendicularmente a la dirección SW-NE que presenta la geoforma (Figura 27).

Litológicamente está constituida por depósitos volcánicos de la Formación Popayán y por basaltos y diabasas del complejo Quebrada Grande. Se localizan al occidente de la población de Totoro en las veredas San Antonio, Buenavista y La Palizada. Se observan deslizamientos traslacionales a lo largo de la vía que de Totoró conduce a Popayán, debido a que la geoforma en esta zona exhibe en sus laderas erosión moderada y meteorización intensa.

Figura 27. Unidad Lomo Denudado (Dld), al sureste del corregimiento indígena de Paniquitá.



9.2.2 Geoformas de origen estructural. Corresponde a geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos, cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural, al plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos exógenos. Se presentan afectadas por procesos erosivos de moderada a baja intensidad y se caracterizan por su relieve colinado a montañoso de laderas cóncavas, convexas y rectilíneas de pendientes abruptas a muy escarpadas. Gran densidad de movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional se generan en las unidades ubicadas al N y NW de la cabecera municipal de Silvia por efecto del trazo de las fallas del Sistema Romeral y de la actividad antrópica producto de la

extracción de material para la elaboración de ladrillo. Entre las Unidades geomorfológicas se presentan:

9.2.2.1 Sierra homoclinal (Ssh). Prominencia topográfica simétrica o ligeramente simétrica elongada y de morfología colinada, de cimas agudas y laderas de longitud moderadamente largas a muy largas, definidas por una secuencia de rocas foliadas apilados e inclinados ($>30^\circ$) en una misma dirección por efecto de plegamiento intenso causado por el sistema de fallas Romeral.

Geoformas de estas características están distribuidas por toda el área de estudio. Se localiza en el nororiente de la plancha entre el Río Moras, Río San José y la quebrada Serengue; en los cerros de Guantama y San José entre las veredas de Patalo, Cabullo y Calderas. Igualmente se encuentran en el sector de la parcelación indígena de Quizgo del municipio de Silvia (Figura 28). Está compuesta por rocas del Complejo Arquía, esquistos y metabasitas del Complejo Cajamarca, esquistos y filitas carbonosas; y rocas del Cretáceo: conglomerados, areniscas, lodolitas carbonosas y calizas.

Unidades muy disectadas por drenaje dendrítico, subdendrítico, paralelo y subparalelo. El control estructural en estas unidades es marcado puesto que está dominado por el Sistema de Fallas Romeral en la zona de Silvia y por las falla de Calambayu, Paso de Bobo e Inzá en el sector oriental de la zona de estudio. Esta geoforma presenta suelos con profundidad media (50cm – 100cm) a alta (100cm – 150cm). Presenta movimientos en masa tales como caídas de roca y deslizamientos traslacionales de suelos y detritos, por efecto directo de las fallas que dominan estas geoformas y producto de la actividad antrópica intensa en el sector rural cerca al casco urbano del municipio de Silvia.

Figura 28. Unidad Sierra Homoclinal (Ssh), vereda Chuluambo (resguardo indígena de Quizgo).



9.2.2.2 Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle). Ladera de sierra homoclinal generalmente denudada, definida por la inclinación de los estratos y dirección de la foliación en favor de la pendiente, de longitud larga de formas irregulares y con pendientes inclinadas ($6^\circ - 10^\circ$) a muy abruptas ($21^\circ - 30^\circ$). Está constituida por rocas intermedias a duras de la Formación Metasedimentitas de Vitoncó, Formación Coquiyú, Arenitas Blancas del Cerro Tambor y Esquistos Glaucofánicos de Jambaló, con desarrollo de suelos residuales asociados localmente a procesos denudacionales acentuados, presentando una profundidad moderadamente profunda (50cm – 100cm) a profunda (100cm – 150cm).

Estas geoformas se presentan a manera de franjas alargadas paralelas a la dirección de las fallas Inzá, El Molino y Santa Rosa. Se encuentran al E del área de estudio en la vereda Calderas (Figura 29) y entre las quebradas El Molino y Yondojo en el sector de la vereda La Cruz, también en el sector entre pedregal y la vereda San Vicente donde se desarrollan numerosos depósitos coluviales. Otra

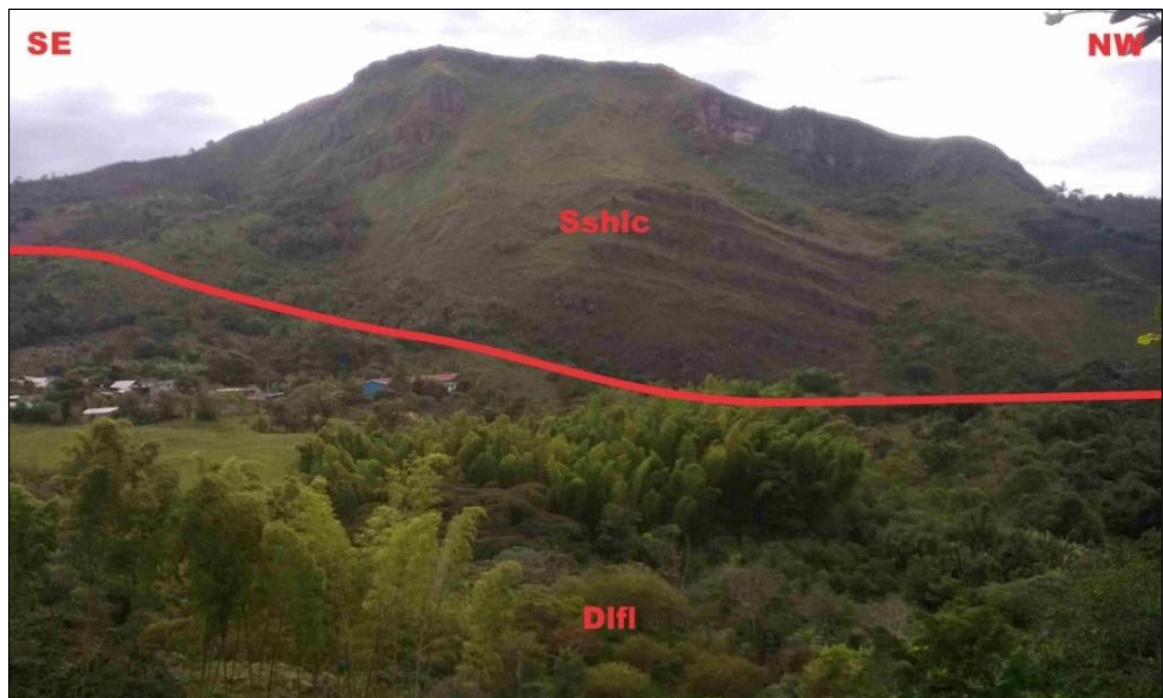
unidad se localiza al E de la población de Jambaló, en la ladera W del Alto de Tierra Blanca. Estas unidades presentan patrones de drenaje subdendrítico a dendrítico en forma de “U” abierto de textura fina con densidad baja y frecuencia media. Presenta procesos de erosión suave de tipo surcos y predominan movimientos en masa acentuados de tipo deslizamiento traslacional de suelos. Las geoformas están controladas estructuralmente por las fallas Santa rosa, El Molino, Inzá, Río Símbola, Tóez, Calambayú y Tálaga.

Figura 29. Geoforma Ladera Estructural de Sierra Homoclinal (Sshle) en la vereda calderas.



9.2.2.3 Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc). Ladera de sierra homoclinal generalmente desnuda, definida por la inclinación de los estratos y dirección de la foliación en contra de la pendiente, es de longitud larga, de formas cóncava irregular y con pendientes abruptas ($16^\circ - 20^\circ$) a muy escarpadas ($31^\circ - 45^\circ$). Se constituye de rocas duras de rocas sedimentarias químicas (Formación Coquiyú). Desarrolla meteorización débil y no presenta movimientos en masa, sin embargo se podrían presentar caídas de roca y detritos por la pendiente abrupta que caracteriza la geoforma. Es común la presencia de procesos coluviales y localmente esta disectada por drenajes. Presentan patrón de drenaje paralelo y subparalelo en forma de “U” cerrado y “V” abierto, textura mediana con densidad moderada y frecuencia media. Estas unidades se encuentran al oriente del área de estudio, en las veredas La Cruz, Taravira y Calderas; y en el sector entre pedregal (Figura 30) y la vereda San Vicente. Otra geoforma se localiza al este de la población de Jambaló, en la ladera E del Alto de Tierra Blanca.

Figura 30. Unidad Ladera de Contrapendiente de Sierra Homoclinal (Sshlc).



9.2.2.4 Ladera estructural (Sle). Superficie en declive, de morfología montañosa a colinada regular, definida por planos preferentes de foliación paralelos al sentido de la inclinación del terreno. Se presentan con longitud larga a muy larga y con pendientes abruptas (16° - 20°) a muy abruptas (21° - 30°) y cimas redondeadas. El patrón de drenaje es subparalelo y poco denso.

Litológicamente está constituida por los esquistos verdes y cuarzomicaceos de la mina del Complejo Arquía. Se localizan al NE del área de estudio en la ladera E de la Loma Uarlo y al E de la Población de Paniquitá en las veredas San Antonio y La Palma. A pesar de que la geoforma se encuentra denudada no presenta movimientos en masa. Las fallas Silvia-Pijao y Popayán sirven de límites de estas geoformas.

9.2.2.5 Ladera contrapendiente estructural (Slcp). Superficie en declive, de morfología montañosa a colinada regular, definida por planos de foliación dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. La geoforma desarrolla foliaciones mayores a 30° , se presenta con longitud larga a muy larga y pendientes abruptas a muy abruptas.

Litológicamente está constituida por los esquistos verdes y cuarzomicaceos de la mina del Complejo Arquía. Se localizan al noroeste del área de estudio en la ladera W de la Loma Uarlo (Figura 31) y al E de la Población de Paniquitá, donde se observó un deslizamiento traslacional de tierras de 180 metros de largo y por 120 metros de ancho (Figura 32). Las fallas Silvia-Pijao y Popayán sirven de límites de estas geoformas. Litológicamente está constituida por esquistos, cuarcita, esquistos verdes del complejo Arquía y por basaltos y diabasas del complejo Quebrada Grande.

Figura 31. Unidad Ladera Contrapendiente (Slcp).



Figura 32. Deslizamiento traslacional de tierras sobre la unidad Ladera Contrapendiente (Slcp)



9.2.2.6 Lomo de falla (Sif). Cerro elongado de morfología alomada, de laderas moderadamente largas a muy largas, de forma cóncava a convexa y con pendientes abruptas ($16^\circ - 20^\circ$) a muy abruptas ($21^\circ - 30^\circ$), localizado a lo largo de una falla de rumbo, formado por el efecto combinado del desplazamiento lateral. Se asocia a rocas muy fracturadas.

Las fallas que crearon estas geoformas son: falla Paso del Bobo, Silvia-Pijao, San Jerónimo, Moras este, Calambayú, Tóez, Inzá y Macama. Conformadas por rocas que van desde el Paleozoico hasta Cenozoico, rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias y vulcano-sedimentarias. La mayoría de estas unidades presentan dirección preferencial NNE.

Estas unidades se caracterizan por presentar drenajes paralelos y subparalelos en forma de “U” abierto de textura fina a mediana, densidad moderada y frecuencia media. Las superficies presentan meteorización moderada y desarrollan procesos de erosión baja a moderada. Se identificaron unidades al oriente del área de estudio, bordeando el Río Páez y Ullucos en cercanías al municipio de Inzá (Figura 33). También se presentan en zona rural del municipio de Silvia entre las veredas el Tenjo, Las Tapias y El Salado; en la Cuchilla de Tulpas, Loma Cuetandiyó; en el sector de Las Juntas; entre las quebradas Agua Blanca y Peña Negra y en el cerro Incensal (municipio de la Plata ,Departamento del Huila).

9.2.2.7 Espolón faceteado (Sefc). Conjunto de sierras colinadas que se desprenden de estructuras mayores las cuales corresponden a procesos tectónicos. Geoformas con índice de relieve moderado de cimas redondeadas y laderas cóncavas de pendiente muy abruptas ($21^\circ - 30^\circ$) a escarpadas ($31^\circ - 45^\circ$) y de longitud moderadamente larga a larga. Son producto de fallamiento inverso y de rumbo de las fallas Las Estrellas, Tálaga, Río Simbola y Paso de Bobo, que generan truncamientos a manera de facetas triangulares y a su vez sirven como límite de las geoformas. En estas unidades predominan los drenajes dendríticos, subdendríticos y paralelos con canales en forma de “V” abierto de textura mediana, densidad moderada y frecuencia media. Presentan erosión de intensidad moderada.

Presentan movimientos en masa como caída de roca y deslizamientos traslacionales sobre todo en las unidades que están ubicadas al N del Río Malvasa (Figura 34). Formas originadas en rocas ígneas del batolito de Ibagué y el Granitoide de Bellones; y en rocas metamórficas del Complejo Cajamarca y el Complejo Arquía. Se encuentran al N del Río Malvasa sector de Loma Alta, en la vereda Cuetandillo y al este del caserío de Tálaga.

Figura 33. Geoforma Lomo de Falla (Sif), vía Inzá-Belalcazar



Figura 34. Unidad Espolón Faceteado (Sefc).



9.2.2.8 Cerro estructural (Sce). Prominencia topográfica aislada de morfología colinada, con laderas de longitud moderadamente larga de pendientes muy inclinadas ($11^\circ - 15^\circ$) a escarpadas ($31^\circ - 45^\circ$), de forma cóncavo convexa e irregular y disectadas por drenajes paralelos y subparalelos de textura fina y frecuencia media. Estas geoformas presentan caídas de roca y desarrollan erosión moderada. Los suelos presentes en estas geoformas están compuestos por alto contenido en arcillas y baja materia orgánica, bien drenados, con el nivel freático por debajo de 80 cm y profundidad total del suelo moderado (50cm – 100cm).

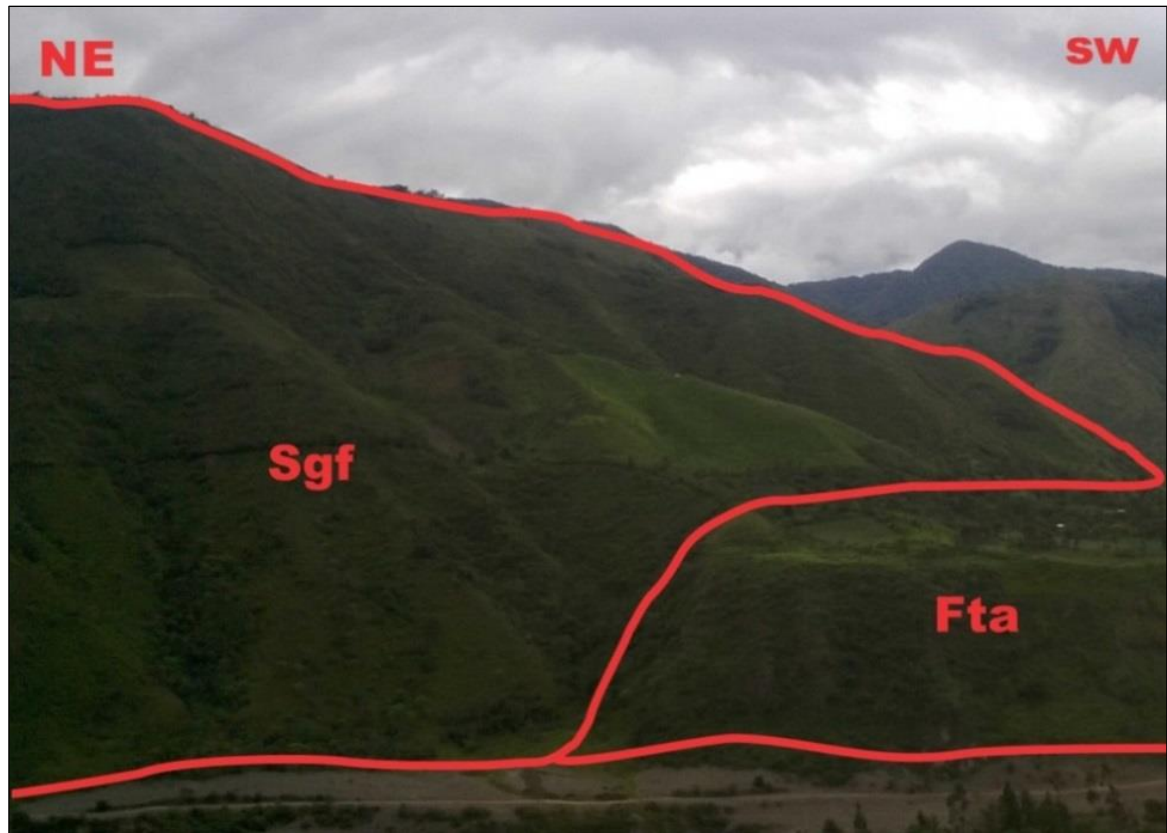
Litológicamente se encuentran asociadas a rocas ígneas del Stock de Pitayó y pórfidos andesíticos de Mosoco. Este tipo de geoforma se localiza al NE de la población de Silvia en Alto El Cacique, Cerro El peñón, Cerro Gargantilla (Figura 35), vereda Nazareth; en el municipio de Belalcazar entre las quebradas Calambayú y El Molino; y en el municipio de Inzá al norte de la población indígena de Calderas. Las unidades que se ubican al E del área están limitadas por las fallas Santa Rosa, El Molino, Inzá, Calambayú, Tóez y fallas satélites de las estructuras de San Jerónimo y Silvia-Pijao.

Figura 35. Geoforma Cerro Estructural (Sce), localizada en el cerro Gargantilla.



9.2.2.9 Gancho de flexión (Sgf). Espolón estructural de morfología alomada y en forma de gancho en vista de planta, por efecto combinado del desplazamiento lateral y la incisión erosiva posterior a lo largo de una falla de rumbo. Estas geoformas son visibles al NE de la zona de estudio entre el Río Páez y la quebrada Tóez, y en la Loma de Tálaga (Figura 36). Litológicamente se desarrollan en rocas ígneas tipo granodiorita y tonalita pertenecientes al Batolito de Ibagué. Presentan laderas largas convexas de pendiente abrupta y predomina el patrón de drenaje paralelo poco denso y de textura fina. Las superficies presentan pequeños flujos secos de detritos y tierras por inestabilidad en las laderas. Los suelos presentes en esta geoforma están conformados por alto contenido de arcillas y poca materia orgánica, bien drenadas y suelos profundos (100cm – 150cm), la meteorización es moderada.

Figura 36. Unidad Gancho de Flexión (Sgf). Caserío indígena de Tóes



9.2.2.10 Plano aluvial confinado (Svc). Plano aluvial de pendiente plana a suavemente inclinada el cual se encuentra limitado por elevaciones, a manera de un valle cerrado. Litológicamente está constituida por metabasitas del Complejo Arquía. Presenta patrón de drenaje paralelo y subparalelo de textura baja, densidad moderada y frecuencia media. La erosión y meteorización es leve. Geográficamente se localiza al NE del municipio de Silvia a lo largo de las quebradas Domingullo, Campanario, Villanueva, La Laguna y el Río Chuluambo en la vereda Valle Nuevo (Figura 37).

Figura 37. Geoforma Plano Aluvial Confinado (Svc), vereda Valle Nuevo.



9.2.2.11 Espolón festoneado (Sefes). Laderas y crestas simétricas de morfología montañosa a colinado y cimas algo redondeadas dispuestas perpendicularmente al rumbo de las estructuras geológicas como las fallas Silvia-Pijao, Santa Rosa y Macama, que definen salientes cortas y largas. El índice relativo de relieve es moderado con laderas cóncavas y convexas. Las pendientes varían entre muy inclinadas (6° - 10°) a abruptas (16° - 20°). Conformado por las rocas ígneas del Batolito de Ibagué, Formación Coquiyú, Conglomerados de San Antonio y los esquistos glaucofánicos de Jambaló. Desarrolla patrones de drenaje subparalelo de textura mediana y densidad moderada. Estas geoformas presentan suelos con minerales primarios abundantes, buen drenaje natural y espesor de los horizontes entre profunda (100cm – 150 cm) y muy profunda (> 150 cm). Se evidencian movimientos en masa tipo flujo de detritos en el sector de La Cruz producto de las temporadas invernales y la denudación que desarrolla la unidad.

Se localizan en el sector de La Cruz hacia el NE de la población de Belalcazar, en la población de Jambaló y en el sector de San Isidro, municipio de La Plata, departamento del Huila.

9.2.2.12 Lomo de obturación (Slo). Prominencia topográfica de morfología alomada y elongada que ha sido desplazada lateralmente por fallamiento de rumbo.

Terrenos con índice de relieve moderado, laderas de forma convexa con inclinación abrupta (16° - 20°) y longitud moderadamente larga. Desarrollan patrones de drenajes paralelos en forma de “U” abierto de textura muy fina con densidad y frecuencia muy baja. No presenta movimientos en masa acentuados. La meteorización en estas unidades es débil. Los suelos poseen una profundidad total alta (100cm – 150 cm), no se evidenciaron en campo movimientos en masa en esta geoforma.

La geoforma se desarrolla en depósitos de flujos de ceniza y lavas andesíticas de la Formación Popayán y está localizada entre las quebradas La Hache, La Cumbre y el Río Piendamó en el sector del resguardo indígena de Guambia del municipio de Silvia (Figura 38). La orientación de la unidad es E-W. Unidad controlada estructuralmente por la falla Paso de Bobo y San Jerónimo. Esta geoforma se caracteriza por desviar moderadamente el curso de la Quebrada Méndez.

Figura 38. Unidad Lomo de Obturación (Slo).



9.2.2.13 Lomo de falla con faceta triangular (Slft). Estructura elongada paralela al sistema de fallas Romeral, falla Tálaga, falla Calambayú y falla Inzá; con laderas inclinadas a muy inclinadas (11° - 15°) y perpendicular a estas con forma de faceta triangular. Su origen se debe al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso, se presentan en diabasas y basaltos del complejo Quebrada Grande y en depósitos de flujo de ceniza y caída de ceniza, índice de relieve moderado a bajo, y longitud de ladera corta. Se localizan al norte del casco urbano del municipio de Silvia entre las veredas Las Tapias y Buena Vista; y al SE de Jambaló, entre las veredas Asnenga, Altamira y Quichaya; y entre las quebradas Calambayú y La Troja en el NE del área de estudio.

Predomina el patrón de drenaje subparalelo de textura media y fina. Esta geoforma presenta erosión y meteorización de intensidad moderada a severa. Los suelos desarrollados en esta estructura están compuestos por alto contenido de arcillas y bajo contenido de materia orgánica, de drenaje natural bueno y profundidad de suelo alta (100cm – 150cm). El control estructural que ejerce el sistema de fallas de Romeral hace que ésta zona sea susceptible a movimientos en masa. Deslizamientos traslacionales afectan la quebrada Juanambú, la vereda Guambia Nueva y la escuela de la vereda El Tranal. Otros movimientos que afecta esta geoforma son la Caída de detritos y deslizamiento rotacional.

9.2.2.14 Espolón (Ses). Saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de las fallas Las Estrellas, Silvia-Pijao, Santa Rosa y Río Simbola. Se encuentra limitada por drenajes paralelos a subparalelos, de pendientes que varían entre abruptas (16° - 20°) y muy escarpada ($>45^{\circ}$). Es resultado de la alternancia de capas duras y blandas con predominio de estas últimas las cuales se disponen perpendicularmente a la estructura mayor. Desarrollan laderas festoneadas en su frente, de forma convexas, de longitudes cortas y largas y de cimas redondeadas. El grado de erosión y meteorización en esta geoforma es de intensidad moderada en suelos de composición arcillosa, bajo contenido de materia orgánica y abundancia de ácidos, de drenaje natural bueno con el nivel freático por debajo de 80 cm y profundidad total de suelo alta (100cm – 150cm).

Las geoformas se presentan al W de la población de Jambaló en las veredas Paletón y Buenavista y al E del área en entre los sectores de Sinaí, las Murallas y la quebrada Coquivá.

9.2.3 Geoformas de origen volcánico. Geoformas originadas como resultado de la actividad volcánica, la cual incluye erupciones explosivas y efusivas, además de aquellas geoformas generadas por acumulación de la remoción de productos volcánicos y rocas clásticas que pueden ser fragmentadas. La actividad volcánica se debe a la acción de procesos endógenos, los cuales ocurren en el interior de la corteza terrestre y dependen de las fuerzas internas de La Tierra.

En el área de estudio estas geoformas son producto de procesos derivados de la actividad de los volcanes del Huila y Puracé, Su génesis está asociada a la acumulación de productos de flujos piroclásticos de ignimbrita, flujos de ceniza volcánica y flujos de lava de composición andesítica previamente depositados, que van quedando elevados conforme la corriente hídrica va erosionando y recuperando su cauce.

Así mismo, Productos efusivos asociados al colapso de la extinta caldera de Gabriel López ocasionado por el vaciamiento parcial de la cámara magmática, ayudaron a modelar las geoformas existentes de este tipo en la zona de estudio. Entre estas geoformas se distinguen en la plancha 343-Silvia:

9.2.3.1 Flujo piroclástico aterrazado (Vfp). Geoformas lobulares de relieve colinado. Presentan laderas inclinadas (6° - 10°) a muy inclinadas (11° - 15°), estas pendientes están asociadas a la erosión hídrica de intensidad severa a moderada. Las laderas moderadamente largas a largas, de forma cóncava y convexa. Desarrolla patrones de drenaje dendrítico, subdendrítico, paralelo y subparalelo de textura fina a mediana y frecuencia media. Localmente se sitúan paralelo a los ríos con los que limita. Su génesis está asociada a la acumulación de productos de flujos piroclásticos que van quedando elevados conforme la corriente hídrica va erosionando y recobrando su cauce.

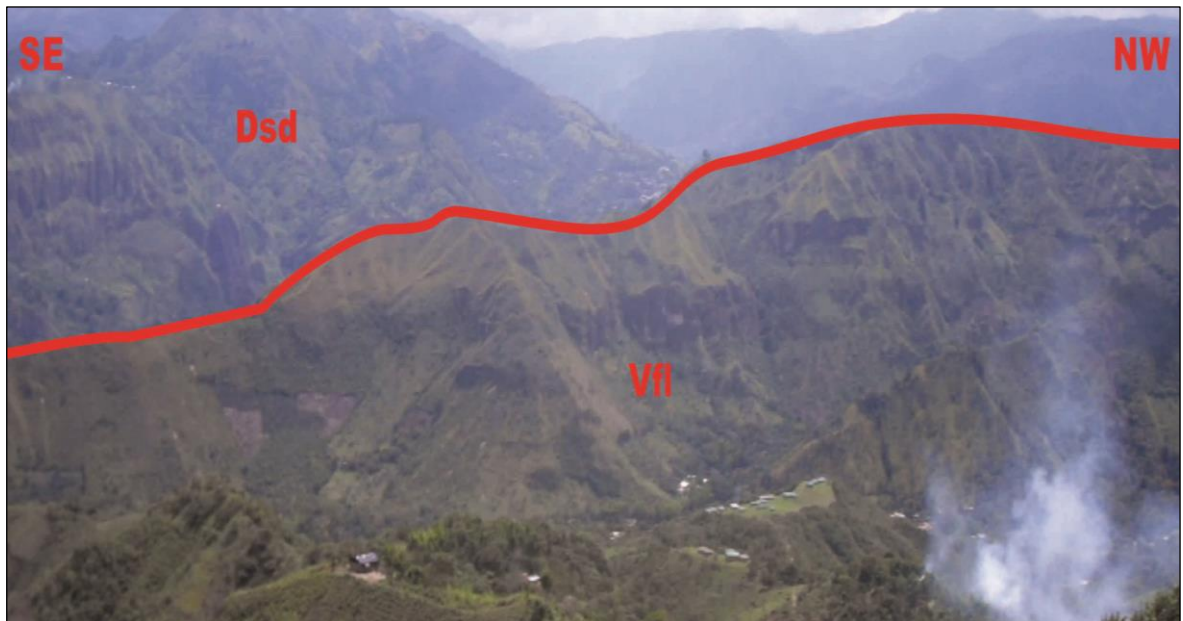
Se localiza en el sector SE de la plancha (vereda San Vicente en el municipio de La Plata, departamento del Huila). Está constituido litológicamente por tobas vítreas y cristalinas de la formación Guacacayo y Saldaña.

9.2.3.2 Flujo de lava (Vfl). Lóbulo alargado relativamente estrecho y delgado, localmente festoneado en su frente y limitado por escarpes de diferente altura, con pendientes inclinadas (11° - 15°) a muy abruptas (21° - 30°) y formas de laderas irregulares. Su génesis está asociada a la extrusión y posterior enfriamiento de flujos de lavas andesíticas con fenocristales de hornblenda y plagioclasa. La morfología de esta unidad se relaciona a la topografía pre-existente y la composición de la lava. En general los suelos presentes en esta geoforma, son suelos de profundidad superficial.

Esta geoforma se encuentra muy disectada con drenajes dendrítico de texturas variadas que ayudan a modelar esta unidad. Se localiza entre el municipio de Inzá (población de San Andrés de Pisimbalá (Figura 39), y el páramo de Guanacas (quebrada La Marqueza); al sur de la población de Totoró y en el sector de

Quintana (entre quebradas El Vado y Santa Teresa, cerca de Popayán. Litológicamente son lavas andesíticas y depósitos de flujo de ceniza de la Formación Popayán. Las geoformas son relativamente estables y solo presenta deslizamientos traslacionales de tierra a lo largo de la vía entre Inza y Gabriel López.

Figura 39. Geoforma volcánica Flujo de Lava (Vfl).



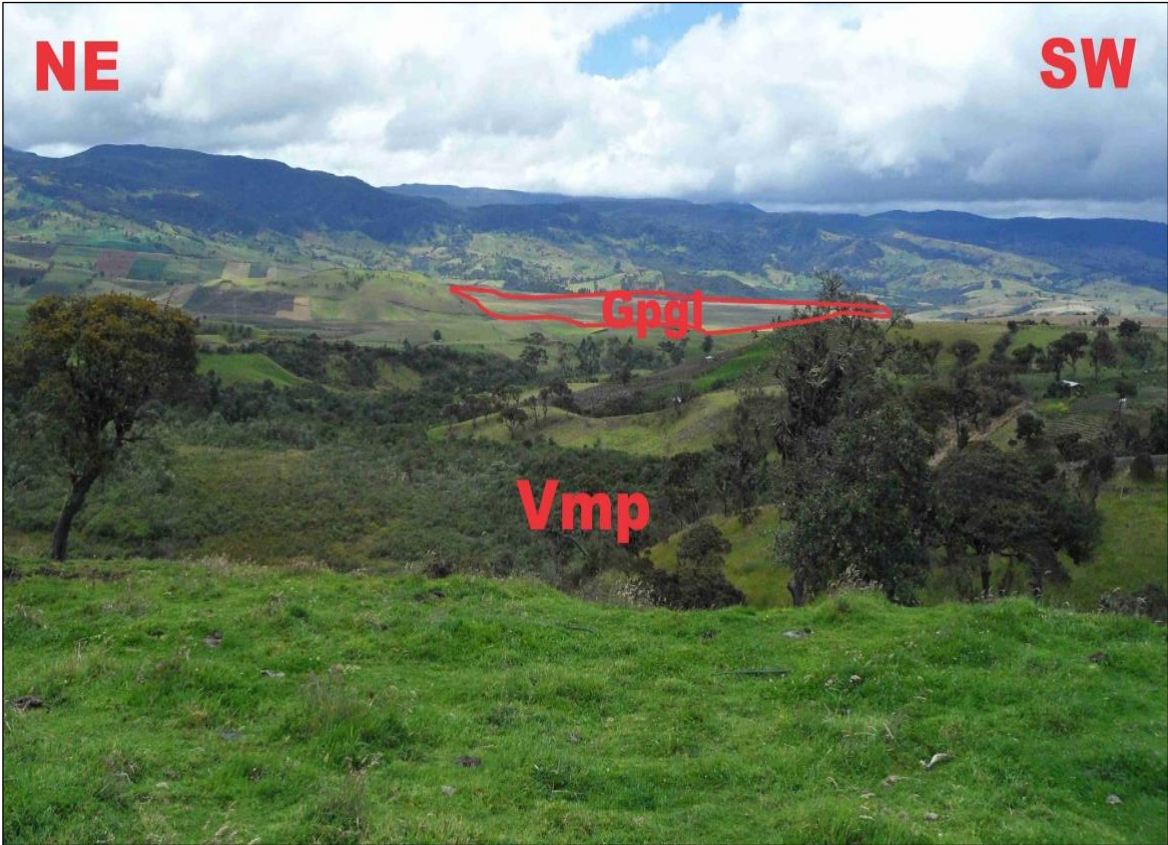
9.2.3.3 Escarpe de Flujo de Lava (Vfle). Ladera casi vertical escarpada a muy escarpada de longitud corta a larga y altura variada, de forma cóncavo-convexa, presente en los bordes de la superficie de los depósitos de flujo de lava. Su génesis está asociada al enfriamiento y reología de flujos de lava andesítica pertenecientes al miembro Polindara de la Formación Popayán. Algunos ríos y quebradas sirven de límite a estas geoformas. Se distribuye en el área de la plancha 343- Silvia hacia los flancos de la Cordillera Central (Figura 40).

Figura 40. Unidad Escarpe de Flujo de Lava (Vfle), vía Gabriel López–Inzá. Vereda Las Margaritas.



9.2.3.4 Manto de piroclastos (Vmp). Esta unidad se encuentra distribuida por toda el área de la plancha, además de cubrir el piedemonte W de la Cordillera Central y el sector del páramo Gabriel López (Figura 41) y Las Delicias. Presenta planos amplios de pendientes suaves a muy inclinadas, localmente aterrazados, de morfología suavemente ondulada. Su génesis se asocia a los diferentes ciclos de actividad eruptiva de la extinta caldera de Gabriel López y los volcanes Nevado del Huila, Puracé y Pan de Azúcar. Presenta erosión laminar principalmente moderada a severa y no presenta movimiento en masa considerables.

Figura 41. Panorámica de la unidad Manto de Piroclastos (Vmp). En segundo plano la geoforma Plano Glaciolacustrino (Gpgl).



9.2.3.6 Flujo lahárico aterrazado. (Vfla). Lóbulo alomado de aspecto tabular y plano a inclinado (2° - 3°), con escarpes de diferente altura. Se localiza paralelo a parte del Río Cofre y Las quebradas La Victoria y Perezosa que la limitan. Su génesis está asociada a depósitos de flujos de lodo, cuya composición es principalmente de andesitas, basaltos y, en menor cantidad esquistos, que han sido mezclados y removidos por cuerpos de aguas superficiales. Estos depósitos así acumulados van quedando elevados conforme la corriente hídrica va erosionando y recobrando su cauce.

9.2.3.7 Cono Lahárico (Vcl). Superficie en forma de abanico, de morfología plana, inclinada (6° - 10°) y en algunos sectores muy abrupta (21° - 30°) en los escarpes originados por la incisión de drenajes locales, localmente aterrazado y con escarpes de diferente altura. Su génesis está asociada a la acumulación de productos volcánicos previamente depositados por los diferentes ciclos de actividad eruptiva de la caldera de Gabriel López, que han sido mezclados o removidos por cuerpos de aguas superficiales cuando llegan a zonas de valles amplios de la corriente por la cual viene canalizado. Se encuentra disectada por drenajes subdendritico de textura fina a mediana que forman valles en U abierto. Presenta suelos de composición arcillosa de color amarillento, abundancia de ácidos húmicos y bajo contenido de materia orgánica, drenaje de suelo bueno y profundidad total alta, presentando erosión con intensidad severa.

La litología está representada por depósitos de flujo de ceniza y caída de ceniza del Miembro la Venta de la Formación Popayán y se localiza entre la vereda Méndez, la Quebrada De Quintero, la vereda Buena Vista y el resguardo indígena de Pitayó. La geoforma no es susceptible a movimientos en masa por su característica de topografía relativamente plana.

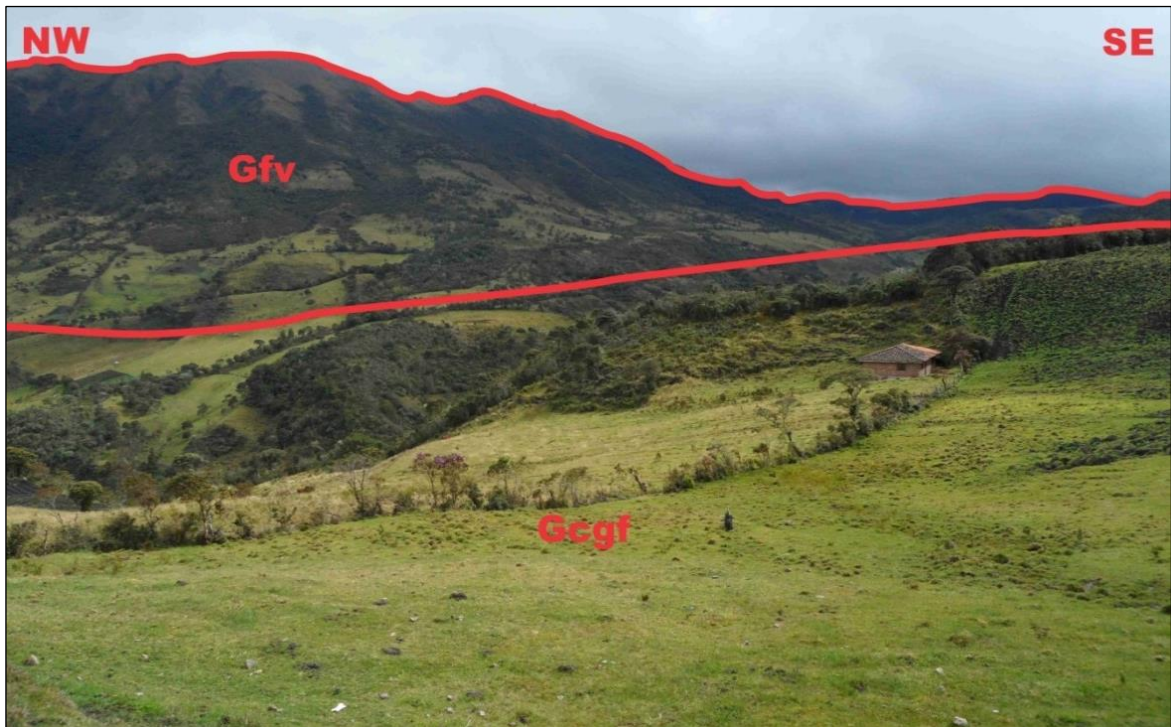
9.2.4 Geoformas de origen glaciar y periglaciar. Corresponde a las geoformas cuya expresión morfológica fue establecida por la erosión intensa ocasionada por el movimiento de grandes masas de hielo en zonas de alta montaña durante la

época glaciár, o igualmente por la acción del enfriamiento intermitente y saturación de sedimentos en zonas periglaciares. Tales eventos esculpieron el sustrato rocoso de origen volcánico preexistente y además generaron grandes cantidades de sedimento, acumulados en las laderas adyacentes.

Geoformas de estas características presentan un amplio desarrollo a elevaciones mayores de 2800 msnm, en la región central en el sector que cubre los páramos Las Delicias, Gabriel López y Moras; además, en el sur y sureste del municipio de Silvia, en el sector del resguardo indígena de Guambia. Entre las unidades geomorfológicas de origen glacial se encontraron las siguientes:

9.2.4.1 Conos glaciofluviales (Gcgf). Conos de longitud larga a muy larga, de laderas rectas y convexas, de morfología inclinada a muy inclinada constituida por depósitos aluviales, localmente paleosuelos negros y por depósitos de flujo de ceniza. Su origen está asociado a corrientes torrenciales producto de deshielo de la parte más distal de una masa glacial. Sigue el cauce de la quebrada Agoyán, Río Cofre, Río Michicao, quebrada Chero, quebrada La Peña, quebrada El Molino, y entre la quebrada Miraflores y el Río Piendamó (Figura 42). Se podrían presentar crecidas de las corrientes en temporada de invierno causando inundaciones en las zonas más bajas.

Figura 42. Unidad como glaciofluvial (Gcgf). En la parte superior la geoforma Flujo de Volcánico Glaciado (Gfv).



9.2.4.2 Flujo volcánico glaciado (Gfv). Lóbulos elongados de morfología colinada a montañosa de laderas inclinadas ($6^\circ - 10^\circ$) a muy escarpadas ($>45^\circ$), moderadamente largas a largas y de formas convexas principalmente. Limitan valles glaciales y están asociados con circos del mismo origen ubicados hacia la parte más alta de la unidad. Estas geoformas fueron modeladas por glaciación. El patrón de drenaje de estas geoformas es dendrítico y forma valles en “U” abierto.

Presenta procesos de erosión suave y desarrolla pequeñas reptaciones de suelo y caídas de roca en laderas con pendiente abrupta. Se dan en los depósitos de flujo de ceniza y en lavas andesíticas de la Formación Popayán. La Unidad se localiza en el páramo Las Delicias; entre el Río Piendamó, quebrada La Loca y el Río Cofre (Figura 43); entre el Río Moras y quebrada El Cabullo; entre las quebradas La Marqueza y El Salado.

Figura 43. Foto panorámica de la unidad Flujo Volcánico Glaciado (Gfv).



9.2.4.3 Plano Glaciolacustrino (Gpgl). Superficies de depósitos formados por la colmatación de lagos naturales y pantanos de origen glacial. Su composición es esencialmente de limos en láminas de tonos claros y oscuros. Se presentan como planos en zonas glaciadas.

Morfología plana con índice de relieve muy bajo, laderas de forma rectilínea y longitud moderadamente larga. Predomina el patrón de drenaje paralelo en forma de “U” abierto, de textura muy fina y con densidad y frecuencia baja. No se producen movimientos en masa debido a la topografía suave que presentan estas unidades. Se localizan hacia la cima de la Cordillera Central, en el páramo de Gabriel López (Figura 44).

Figura 44. Plano glaciolacustrino (Gpgl), Ciénaga de Calvache.



9.2.4.4 Espolón estructural glaciado (Gee). Salientes simétricas agudas con pendientes muy inclinadas (6° - 10°) a abruptas (21° - 30°). El tipo de relieve es montañoso, con laderas cortas a largas de forma convexa. Numerosos valles en “U” modelan la unidad. Está constituida por lavas andesíticas de la Formación Popayán. La unidad está dispuesta perpendicularmente a las fallas Calambayú y Moras Este.

Presenta suelos arcillosos, contenidos variables de materia orgánica, presencia de minerales primarios, drenaje natural de suelo bueno y profundidad total de suelo superficial. Presentan patrón de drenaje paralelo y subparalelo. La geoforma se localiza en el páramo Moras siguiendo el Río Moras hasta el caserío Mosoco La estabilidad de las laderas no permite que se desarrollen movimientos en masa acentuados. Sin embargo se podrían presentar caídas de roca o deslizamientos

en terrenos donde la pendiente es fuerte y pequeñas reptaciones de suelo en pendientes relativamente suaves.

9.2.4.5 Laguna Glacial (Glg). Cuerpos de agua en zonas montañosas como resultado del proceso natural del deshielo de antiguos glaciares, localizados principalmente en la base de los circos glaciales y en la parte trasera de morrenas terminales.

Se presentan sobre el eje de la Cordillera Central, donde se encuentran los páramos de Guanacas, Las Delicias y Gabriel López. Se encuentran asociadas con geoformas de origen glacial, valles sinuosos en “U” y circos glaciales en las cabeceras de algunas quebradas como La Michambe, afluente del Río Piendamó. La fracción sólida está constituida por una mezcla heterogénea de arcilla, limo, arena y cantos subangulosos estriados de pórfidos mineralizados, rocas metamórficas y andesitas. En el sector de la caldera de Gabriel López se compone esencialmente de limos en láminas de tonos claros y oscuros. Son geoformas sin presencia de movimientos en masa.

Entre las lagunas principales que pertenecen a esta geoforma se encuentran las de Guantama, El Violín, Ñimbe, El Boqueron, Juntas, Peña Blanca, Piendamó, La Marqueza, La Estrella, La herradura, Guanacas, Delicias, La Palma y Puntabrava.

9.2.4.6 Sierra homoclinal glaciada (Gshg). Sierra montañosa ligeramente simétrica elongada con laderas rectas cortas a extremadamente largas, cimas agudas y formada por una secuencia de rocas apilados por efecto de replegamiento intenso y fallamiento y afectadas seguidamente por procesos periglaciales. Se encuentra disectada por drenajes subdendriticos a subparalelos. Presenta laderas rectas de cimas agudas. Esta geoforma se encuentra limitada por las fallas Moras Este y Falla San Jerónimo, en el páramo de Eras y Moras (Figura 45).

Figura 45. Geoforma Sierra Homoclinal Glaciada (Gshg). Paramo de Moras.



9.2.5 Geoformas de origen fluvial. Son originadas por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y sedimentación de materiales en las zonas aledañas a dichas corrientes, estos procesos suceden tanto en épocas de invierno e inundación, como en épocas de verano. Las principales geoformas se encuentran en la parte oriental de la zona de estudio asociadas a los ríos Páez, Moras, San Vicente, Ullucos, Negro y drenajes de menor magnitud, las demás geoformas dentro de la zona de estudio están asociados a quebradas confinadas a las zonas montañosas. A continuación se presentan las geoformas asociadas a este ambiente.

9.2.5.1 Cauce aluvial (Fca). Canal de forma irregular excavado por corrientes perennes y estacionales, dentro de macizos rocosos y sedimentos aluviales. En el Río Páez (Figura 46), San Vicente, el Río Ullucos y el Río Malvasa las corrientes fluyen en macizos rocosos y producen procesos básicos de erosión que entallan dicho macizo y se mueven lateralmente dentro de las rocas menos resistentes. Es común el desarrollo de terrazetas a lo largo de estos cauces.

En este tipo de cauce el mayor socavamiento se da en las partes superiores de su curso, donde es mayor el gradiente y la carga de sedimentos es más gruesa. El

cauce aluvial del Río Páez está limitado en sus flancos por una llanura de inundación originada por la avalancha que se produjo en 1994 a causa de la erupción del nevado del Huila. Estos cauces poseen fuerte control estructural por fallas regionales que atraviesan la zona. Los corrientes con estas características se encuentran en la parte Este del área, en los municipios de Belalcazar e Inzá. Grandes valles en “V” caracterizan este tipo de cause aluvial.

Causes menos sinuosos y de menor longitud se localiza en las quebradas Verrugas, El Arrayan, Caracol, La Marqueza y el Río Piendamó. Estas corrientes presentan menos caudal a causa del relieve moderado que atraviesan y poseen menor control estructural. Estos causes se encuentran hacia el centro y el Oeste del área de estudio.

En general estas geoformas son susceptibles a inundaciones, avalanchas y avenidas torrenciales, especialmente en la zona noreste donde se encuentra el Río Páez. Ésta es zona los movimientos en masa están relacionados con el nevado del Huila, cuya actividad volcánica podría generar grandes catástrofes naturales en las poblaciones que se encuentran dentro de su área de influencia.

9.2.5.2 Terrazas de acumulación (Fta). Planos elongados y en forma de abanico, de morfología plana a suavemente ondulada y modelada sobre sedimentos aluviales. Presenta pendientes inclinadas (6° - 10°) hasta muy abruptas (21° - 30°) en algunos casos por la disección de procesos fluviotorrenciales, índice de relieve bajo a muy bajo, las terrazas por su tipo de depositación presentan longitud de laderas moderadamente largas a largas de forma convexa a rectilínea. Se ubican al nororiente de la plancha.

Se presentan en forma pareada a lo largo del cauce de los ríos al cual limitan por escarpes de diferente altura. Su origen está relacionado con procesos de erosión y acumulación aluvial dentro en antiguas llanuras de inundación, por donde fluyen las corrientes. La formación de estas terrazas incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical de intensidad moderada. Estas geoformas presentan

suelos con profundidad moderadamente profunda (50cm – 100cm). Estas terrazas hacen parte de cauces rectos, asociados a control estructural. Se constituyen de gravas arenas, limos y arcillas, cuyo tamaño va disminuyendo a medida que se aleja del cauce del río.

Estas geoformas se localizan en las riberas de los ríos Páez (Figura 46), San Vicente, Ullucos, Malvasa y Pisno. No son muy afectadas por movimientos en masa, Sin embargo las que se encuentran a lo largo del Río Páez y San Vicente son susceptibles a fenómenos asociados a la actividad volcánica Nevado del Huila.

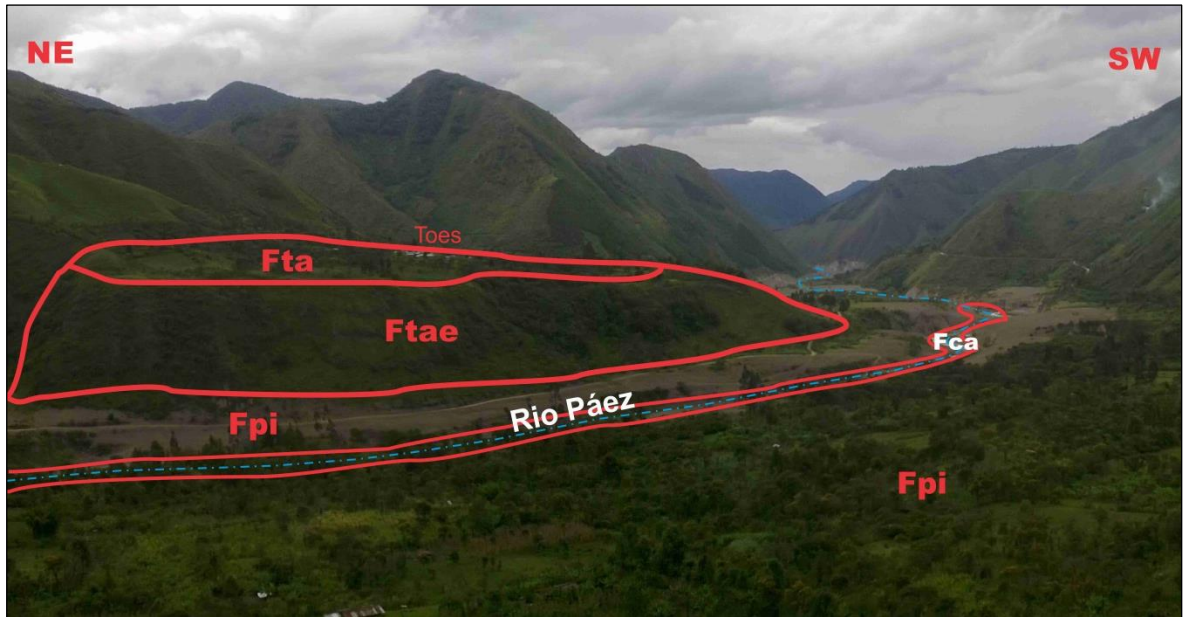
9.2.5.3 Escarpe de terraza de acumulación (Ftae). Plano vertical a subvertical, escalonado, excavado en sedimentos aluviales que bordean las terrazas de acumulación. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce del Río Páez (sector de Tóez, Figura 46), y el Río Ullucos (veredas el Hato y Segovia). La altura de los escarpes puede alcanzar los 80 metros y los hasta 300 metros de longitud.

9.2.5.4 Plano o llanura de inundación (Fpi). Franja de terreno plana, de morfología baja y ondulada eventualmente inundable, índice de relieve bajo muy bajo. Se presenta bordeando los cauces fluviales de los ríos Páez y San Vicente (Figura 46). Se incluyen los planos fluviales menores y conos coluviales menores de las quebradas Tálaga, Cuelandiyo, Toes y San Miguel, que se unen a los ríos antes mencionados. Limitan localmente con escarpes de terraza, de longitud moderadamente larga de forma rectilínea.

Estas geoformas se encuentran al nororiente de la zona de estudio en una región montañosa donde las corrientes fluviales se unen con sus tributarios para formar el cauce principal y se muestran como superficies estrechas, alargadas y profundas que presentan una red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad. Se constituye de gravas de diferente tamaño y de sedimentos finos producto de la sedimentación durante eventos de inundación fluvial. Esta

geoforma es susceptible a inundación por acción de la actividad volcánica del Nevado del Huila.

Figura 46. Unidades Cauce aluvial (Fca), Terrazas de acumulación (Fta), Escarpe de terraza de acumulación (Ftae) y Plano o llanura de inundación (Fpi) asociadas a la actividad fluvial del Río Páez.



10 CONCLUSIONES

El Mapa geomorfológico generado a partir de los atributos de morfometría, morfogénesis y morfodinámica, con las cuales se definieron las unidades geomorfológicas en la plancha 343-Silvia, ubicada al oriente del Departamento del Cauca y al occidente del Departamento del Huila, sirve como aporte para la elaboración sistemática de futuros mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

Las geoformas de origen estructural dominan el área de estudio, son el producto de la actividad tectónica asociado al sistema de Fallas de Romeral, y a las fallas San Jerónimo, Inzá, Piendamó, Calambayú, Río Simbola y Paso del Bobo, dichas geoformas cubren aproximadamente el 20,63% de la zona de estudio.

Los procesos morfodinámicos dominantes en el ambiente estructural son los deslizamientos traslacionales, caídas de roca y detritos y en menor proporción deslizamientos rotacionales y reptación. Al norte del casco urbano de Silvia se observaron deslizamientos traslacionales y rotacionales, en su mayoría generados por la explotación artesanal de arcilla producto de la alteración de rocas volcánicas, la cual es utilizada para la fabricación de ladrillo. Otros deslizamientos asociados a intensas lluvias se presentan en la microcuenca de la quebrada Juanambú. Se observan Movimientos lentos de reptación en geoformas de pendiente moderada y suelos con alto contenido de materia orgánica. Estos movimientos se encuentran entre las veredas Escalereta y Moras, dentro de la unidad Sierra homoclinal glaciada (Gshg).

Estos deslizamientos al norte del casco urbano de Silvia se generan principalmente sobre el Sistema de Fallas Romeral, afectando en gran medida a viviendas e infraestructura vial. Se presentan deslizamientos de tipo rotacional, traslacional, y en ocasiones flujos puntuales, primordialmente en las unidades del sector nororiental de la plancha a lo largo de las riveras del Río Páez. Estos

fenómenos se producen en geformas lomo de falla (Slf), Lomo de Falla con Faceta Triangular (Slft) y Sierra homoclinal (Ssh). Como resultado de la composición de los suelos, la alta pendiente de la zona y principalmente de la actividad tectónica de la región, se evidencia un gran número de movimientos en masa a pequeña escala.

El 15,23% del área de estudio corresponden a unidades de Ambiente Denudativo. La unidad cono y lóbulo de solifluxión (Dco) que se encuentra en la vía Gabriel López - Inzá, entre las veredas El Carmen y Guanacas, en el sector de la quebrada Guanacas, está afectada por caída de rocas y detritos a causa de los trabajos de ampliación y pavimentación que se realizan en la vía.

El 1,52% del área de estudio corresponden a unidades de Ambiente Fluvial, como son los Cauce Aluvial (Fca), Plano o Llanura de Inundación (Fpi), Terraza de Acumulación (Fta) y Escarpe de Terraza de Acumulación. Estas geformas se encuentran principalmente concentradas hacia la parte Oriental de la zona de estudio y son el producto de la erosión de las corrientes de los ríos San Vicente, Páez y Ullucos, en la parte centro y occidente del área de estudio se evidenciaron geformas confinadas a valles en “V”, con flancos de diferente pendiente.

Las unidades fluviales localizadas al nororiente de la plancha en la parte alta de la cuenca del Río Páez, son susceptibles a grandes movimientos en masa como deslizamientos y flujos puntuales, además de flujos de escombros o avalanchas debido a la alta actividad sísmica y volcánica de la región.

Hacia la zona central del área de estudio en zona de paramo, se presenta unidades de ambiente Glacial, representa el 28,44% de la plancha 343-Silvia.

Las rocas presentes en las unidades de ambiente Glacial son susceptibles a fenómenos en masa de tipo flujo de detritos y caídas de rocas, por acción de enfriamiento y expansión del agua contenida dentro de estas rocas.

En la vereda Piendamo Arriba en riveras del Río Piendamo se observaron pequeños deslizamientos traslacionales de tierras y detritos recientes en laderas de la unidad Cono Glaciofluvial (Gcgf), que contienen suelos saturados de origen volcánico con alto contenido de materia orgánica.

Geoformas originadas por actividad volcánica se distribuyen por toda el área de estudio comprendiendo el 34,18% de la Plancha. Estas geoformas presentan pendientes abruptas e inclinadas que producen deslizamientos de tipo traslacional y rotacional, y en algunos casos flujos.

En el ambiente volcánico predominan los movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional y en menor proporción caídas de roca. Se presentan Numerosos deslizamientos traslacionales de pequeñas dimensiones en las vías Silvia-Piendamo y Totoro-Popayán. Dichos deslizamientos se muestran sobre la geoforma Manto de Piroclastos (Vmp). Entre las vías Paniquitá-Piendamó (vereda Hato Viejo), Paniquitá-Totoro y Usenda-La Siberia (vereda La Esperanza), se observaron tres deslizamientos traslacionales de dimensiones considerables sobre laderas de pendiente moderada de la unidad manto de piroclastos (Vmp); y reptación en la vía Gabriel López-Portachuelo, sector de la vereda Santa Bárbara,. En la unidad flujo de lava (Vfl), se evidenciaron caídas de roca en la vereda La Marqueza, producto de detonaciones controladas para extraer material de relleno para la ampliación y pavimentación de la vía Gabriel López-Inzá.

El relieve y la actividad geológica hacen que el área que cubre la Plancha 343-Silvia sea una zona dinámica, expuesta a fenómenos sísmicos, volcánicos y a procesos de erosión y movimientos en masa. Las condiciones geológicas y climáticas del área, las fuertes pendientes y la actividad antrópica como la deforestación, la minería artesanal y el desarrollo agrícola inadecuado, predisponen el terreno para que ocurran movimientos en masa. Si a ello se le suma un factor detonante, como una precipitación torrencial o un sismo, se presentarán extensos desprendimientos de material.

11 RECOMENDACIONES

El propósito de la cartografía geomorfológica es proporcionar información concisa y sistemática sobre las formas del terreno; su origen, los procesos naturales que han ocurrido y los fenómenos naturales activos. En ese sentido los mapas geomorfológicos deben ser herramientas útiles, que permitan evaluar el comportamiento de los terrenos, inventariar los movimientos en masa y sus aplicaciones en la evaluación de amenazas naturales, elaboración de Planes de Ordenamiento Territorial, considerar el desarrollo de obras de infraestructura, y establecer zonificaciones geomecánicas entre otras.

Este trabajo debe ser visto como una aproximación y validación de la implementación de la metodología para la generación de mapas geomorfológicos aplicados a zonificación de amenazas por movimientos en masa escala 1:100.000, el cual ayudara al entendimiento de las características físicas de los ambientes presentes en la zona de estudio y por lo tanto es sujeto modificaciones en la medida que se mejore la metodología para garantizar un mejor conocimiento.

Dada la escala de trabajo existe una limitante en lo que respecta a cartografiar los movimientos en masa, dentro de las descripciones de las unidades geomorfológicas que presentan algún grado de afectación por estos procesos, se hace énfasis en los mismos y se enuncian los mecanismos de falla presentes en cada una de ellas.

En el marco de la metodología para la generación del mapa geomorfológico es indispensable hacer énfasis en lo que respecta a inventario y catálogo de movimientos en masa, en las zonas que a futuro serán objeto de estudio, para así garantizar productos de mayor calidad.

Este mapa debe ser tomado como referencia, no como insumo para procesos de zonificación de amenazas por movimientos en masa a mayor detalle.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, J.; LINARES, E., 1983. *Geología de la Cordillera Central y el occidente Colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides mesocenoicos*. Ingeominas, Bol. Geol., 26(2):1-175. Bogotá.
- ARCILA, M.; MONSALVE, M. L. 1996. *Aspectos estructurales a partir de una evaluación dinámica del proceso de réplicas del Sismo de Páez*. 7 Congr. Col. Geol., Resumen. Santa Fe de Bogotá.
- CARVAJAL, H. 2008. *Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia*. Documento INGEOMINAS, 30 P. Bogotá-Colombia: Autor.
- CORPORACIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL CAUCA (CRC). 1984. *Plan de desarrollo del Cauca*, 284-285. Popayán-Colombia: Autor.
- CRUDEN D.M.; VARNES D. J. 1996. *Landslide types and processes*. In: Turner A.K.; Shuster R.L. (ed.). *Landslides: Investigation and Mitigation*. Transp. Res. Board, Special Report 247, 36–75.
- GOODMAN, R.E., Y BRAY, J.W., 1976. *Toppling of rock slopes*, en *Memorias, Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and slopes*, Boulder: Boulder, Colorado, p. 201–234.
- GOOGLE. 2014. *Imágenes de satélite del Departamento del Cauca, Colombia*. Disponible en: <http://earth.google.com>. Consulta: Julio 25 de 2014.
- GROSSE, E. 1926. *El Terciario Carbonífero de Antioquia*. Ed. Dietrich Reimer, 361 p. Berlín.

- GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. 1999. *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy*. *Geomorphology*, 31: 181–216.
- HOEK, E., BRAY, J.W., 1981. *Rock slopes engineering: Institution of Mining and Metallurgy*, 358 p.
- HUTCHINSON, J.N. 1988. *Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology*. 5th International Conference on Landslides, 1: 3 – 35. Lausanne.
- HUNGR, O.; EVANS, S.G.; BOVIS, M.; HUTCHINSON, J.N. 2001. *Review of the classification of landslides of the flow type*. *Environmental and Engineering Geosciences*, 7: 22–238.
- ICEL. 1983. *Estudio de aprovechamiento hidroeléctrico de los ríos Páez y La Plata*. Informe interno. Bogotá.
- IGAC, 2009. *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento del Cauca*. Bogotá DC-Colombia: Autor.
- IGAC. 1993. *Cauca, características geográficas*. 159 p. Santa Fe de Bogotá-Colombia: Autor.
- INGEOMINAS; NASA KIWE. 1996. *Evaluación de amenaza y vigilancia volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila*, 32 p. Colombia: Autor.
- INGEOMINAS; NASA KIWE. 1995. *Zonificación para usos del suelo en la cuenca del Río Páez*. INGEOMINAS, 61 p. Popayán- Colombia: Autor.
- INGEOMINAS. 1995. *Boletín de Sismos junio de 1994*. Ingeominas, Subdirección de Geofísica, Red Sismológica Nacional de Colombia, I-2(6):1-27. Santa Fe de Bogotá-Colombia: Autor.

- MARQUÍNEZ, G.; MORALES, C.; CAICEDO, J. C. 2002. *Memoria explicativa levantamiento geológico de la Plancha 344 Tesalia*. INGEOMINAS. Bogotá.
- MAYA, M.; GONZÁLEZ, H. 1995. *Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia*. INGEOMINAS, Bol. Geol., 35(2-3):43-57. Santa Fe de Bogotá.
- MAYA, M. 1992. *Catálogo de las dataciones isotópicas en Colombia*. INGEOMINAS, Bol. Geol., 32(1-3):127-187. Santa Fe de Bogotá.
- MOSQUERA, D.; ORREGO A. 1990. *Simposios de geología Regional (Cordillera Central y Occidental)*. INGEOMINAS, Informe Inédito, Bogotá.
- ORREGO, A.; ACEVEDO, P. 1984. *Geología de la plancha 364-Timbío. Escala 1:100.000*. INGEOMINAS, Bogotá.
- ORREGO, A., 1977. *Geología y geoquímica del área mineralizada El Pisno, Silvia. (Cauca, Colombia)*. Ingeominas, Pub. Esp., (10):47-62. Bogotá.
- ORREGO, A.; PARÍS, G. 1999. *Cuadrángulo N- 6 Popayán: Geología, Geoquímica y Ocurrencias Minerales (Versión Resumida)*. INGEOMINAS, Pub. Esp., (22):1-54. Santa Fe de Bogotá.
- ORREGO, A.; PARÍS, G. 1991. *Cuadrángulo N- 6, Popayán: Geología, Geoquímica y Ocurrencias Minerales. Escala 1:100.000*. INGEOMINAS, Informe interno. Popayán.
- PARÍS, G.; SAURET, B. 1991. *Microzonificación Sismotectónica de Popayán*. INGEOMINAS Común. Econ. Europea. 123 p. Popayán.
- PRIEM, H. N. A.; KROONENBERG, S. B.; BOELRIJK, N. A.; HEBEDA, E. H. 1989. *Rb- Sr and K-Ar evidencie for the presence of a 1,6 GA basement underlying the 1,2 Garzón-Santa Marta Granulite Belt in the Colombian Andes*. Precambrian Res., 42:315-324. Amsterdam.

- PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS. 2007. *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.
- RODRÍGUEZ, G. 1995. *Petrografía del Macizo de La Plata. Departamento del Huila*. Rev. INGEOMINAS, 5:5-16. Santa Fe de Bogotá.
- RUIZ, S.; MARQUÍNEZ, G. 2003. *Memoria explicativa de la Plancha 343 Silvia*. INGEOMINAS, Bogotá.
- RUIZ, S.; MARQUÍNEZ, G. 2002. *Mapa Geológico de la Plancha 343 Silvia*. INGEOMINAS, Bogotá.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 2013a. *Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa Por Movimientos En Masa Escala 1:100.000*. Versión 2. Bogotá. Colombia: Autor.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 2013b. *Anexo A: Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas*, 41p. Bogotá-Colombia: Autor.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 2012. *Propuesta Metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa Escala 1:100.000*. Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental, 88pp. Bogotá-Colombia: Autor
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 2014. Sistema de Información de Movimientos en Masa. Disponible en: <http://zafiro.sgc.gov.co/simma/default.aspx>.

UIS 2013. *Tabla de Recolección de Datos de Morfometría para Cartografía Geomorfológica*. Bucaramanga-Colombia: Autor

VARNES, D. J. 1978. *Slope movements types and processes*. En: SCHUSTER R.L., y KRIZEK R.J. (ed.). *Landslides analysis and control*: National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176: 9 - 33. Washington D.C.

VERSTAPPEN, H.Th., VAN ZUIDAM, R.A., 1991. *The ITC system of geomorphologic survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards: ITC Publication*, 10, 89 p.

ANEXOS

