

**ANÁLISIS MORFODINÁMICO COMO CONTRIBUCIÓN PARA LA
GENERACIÓN DEL ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA
RELATIVA, EN LA PLANCHA 368, SAN VICENTE DEL CAGUÁN, ESCALA
1:100.000, DEPARTAMENTO DEL CAQUETA.**

MARLON STEVEN FLOREZ CACUA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2014

**ANÁLISIS MORFODINÁMICO COMO CONTRIBUCIÓN PARA LA
GENERACIÓN DEL ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA
RELATIVA, EN LA PLANCHA 368, SAN VICENTE DEL CAGUÁN, ESCALA
1:100.000, DEPARTAMENTO DEL CAQUETA.**

MARLON STEVEN FLOREZ CACUA
Proyecto de Grado para obtener el Título como Geólogo

Director:
JOAQUIN ANDRES VALENCIA ORTIZ
Geólogo

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2014

DEDICATORIA

Primero que todo a mi mamá; Nubia Cacia Mogollón quien fue mi motor, mi inspiración y la base de mi vida. Mi papá Juan Carlos Florez, quien estuvo siempre ahí sin críticas ni mala cara, al contrario me brindo un apoyo incondicional y a mi nona Graciela, una bendición en mi vida, siempre dándome sin esperar nada a cambio. Los quiero con toda el alma.

Con mi familia quiero compartir este logro tan importante de mi vida. Gracias por estar ahí al lado mío, a mis seres queridos que están en el cielo (Primo Eder, Nona Ana y a Mi Bisabuela Helena), nunca los olvidare.

AGRADECIMIENTO

A Papito Dios que siempre ha velado de mi vida y ha puesto en mi camino las herramientas para construir la mejor persona que soy hoy en día.

Al Profesor Velandia quien fue la persona que confió y me dio la entrada a este maravilloso proyecto, a mi director de proyecto Joaquín Valencia, más que un director, además de jefe un gran amigo, gracias por todo socio.

A mis compañeros de trabajo, los cuales gracias a Dios también son amigos míos se les quiere y aprecia (William Duarte, Diego Hernández, Jesús Rincón, Manuel Zafra, Leonardo Chaparro, Leonardo Daza, Leonardo Palmera, Nelson López, Silvia Machuca Estefanía Castellanos, MaPu Castellanos), crearon el mejor ambiente de trabajo.

A mi segunda familia, Mis hermanos; Cristina Ardila, Ferney Hernández, Mauricio Delgado, Carlos Cote, Carlos Mantilla, Yosep Murillo, Edgar Mendoza, Rodolfo Peña, Sergio Moreno, Miguel Moreno, Rafael Barrera, Juan Manuel Rozo, Edgar García, Leidý Plata, Yitta Pinto, Laura Meléndez, MaFe Calderón, Yesid Aguilar, Andersson Ardila, Ivan Baez, Alexander Santamaria, Marving Camacho, Julio Blanco, con los cuales compartí las más grandes anécdotas como estudiante.

Hay mucha gente que falta por nombrar y pero eso no significa que no estén presentes para mí, lastimosamente no puedo seguir extendiéndome; se les quiere eso deben recordarlo. Muchas gracias a todos!!!

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1 OBJETIVOS.....	18
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
3 JUSTIFICACIÓN.....	21
4 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	23
5 METODOLOGÍA.....	24
5.1 COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	24
5.2 TRABAJO DE CAMPO.....	25
5.3 RESULTADOS, INTERPRETACIÓN E INFORME FINAL.....	25
6 MARCO TEÓRICO.....	27
5.4 COMPONENTE DE RELIEVE.....	28
5.4.1 Relieve relativo.....	28
5.4.2 Inclinación de la ladera.....	29
5.4.3 Modelo relaincli.....	31
5.5 DEPÓSITOS CUATERNARIOS.....	32
5.6 MOVIMIENTOS EN MASA.....	35
5.6.1 Caída de roca.....	37
5.6.2 Volcamiento.....	38
5.6.3 Deslizamientos.....	39
5.6.4 Propagación lateral.....	41
5.6.5 FLUJOS.....	41
5.6.6 REPTACIÓN.....	42
6 MARCO GEOLÓGICO.....	44

5.7 ESTRATIGRAFÍA.....	45
5.7.1 Complejo Garzón Migmatitas de Florencia (PRmlf)	45
5.7.2 Formación Pepino (E2E3pe)	45
5.7.3 Grupo Orito (E2N1or)	46
5.7.4 Terrazas (Qt2).....	46
5.7.5 Depósitos Aluviales Y Terrazas Bajas (Q2al).....	47
5.8 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	47
5.8.1 Falla El Doncello	47
5.8.2 Falla Guayas	47
5.8.3 Falla Lozada.....	48
5.8.4 Falla San Pablo.....	48
5.8.5 Falla Santana Ramos.....	49
5.8.6 Sistema De Fallas Caguán.....	49
5.8.7 Anticlinal Lozada	49
5.8.8 Anticlinal Y Sinclinal El Arenoso.....	50
8. RESULTADOS.....	51
8.1 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN	51
8.1.1 Relieve Relativo	51
8.1.2 Inclinación De La Ladera	54
8.1.3 Modelo Relaincli.....	56
8.2 DEPÓSITOS CUATERNARIOS.....	59
8.3 MOVIMIENTOS EN MASA	61
8.3.1 Descripción por sectores.....	62
8.3.2. Indicadores estadísticos.....	67
9 CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de la zona de estudio, Plancha 368, San Vicente del Caguán.	23
Figura 2. Esquema de la metodología del trabajo.....	24
Figura 3. Partes que componen a la morfodinámica.....	28
Figura 4. Partes básicas de un movimiento en masa	36
Figura 5. Diagrama ilustrativo de caída de rocas.....	37
Figura 6. Diagrama ilustrativo de volcamiento	38
Figura 7. Diagrama ilustrativo de un deslizamiento traslacional.	39
Figura 8. Diagrama ilustrativo de un deslizamiento rotacional.....	40
Figura 9. Diagrama ilustrativo de una propagación lateral.....	41
Figura 10. Diagrama ilustrativo de flujos.....	42
Figura 11. Diagrama ilustrativo de reptación.	43
Figura 12. Leyenda Geológica tomada y modificado de Rodríguez G, Zapata G, Velazquez M, 2003 INGEOMINAS	44
Figura 13 . Representación gráfica del procesamiento del Relieve Relativo.	53
Figura 14. Representación gráfica del procesamiento de la inclinación de la ladera.	55
Figura 15. Representación gráfica del procesamiento de la variable RelIncli.	58
Figura 16. Representación gráfica de los depósitos aluviales.	60
Figura 17. Representación gráfica de las terrazas.....	61
Figura 18. Deslizamiento traslacional ubicado en la salida del municipio de San Vicente del Caguán (Caquetá) hacia el municipio de Puerto Rico (Caquetá). Se muestra materia de Depósito aluvial desplazado sobre él mismo.	63
Figura 19. Se muestran dos movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional (parte superior) y flujo de detritos (parte inferior), activos, compuestos y avanzados.....	63

Figura 20. Se observa el tipo de movimiento, reptación de suelos, mostrando su característica principal la inclinación de los árboles (parte derecha) y erosión de tipo terracetas.	64
Figura 21. Se observa el tipo de movimiento, reptación de suelos, mostrando su característica principal la inclinación de los árboles y erosión de tipo terracetas. .	65
Figura 22Deslizamiento traslacional sobre la carretera hacia la vereda la Urraca. Se observa que el material removido es tierra y en menor proporción detritos; además de ser suelo transportado es suelo residual del Grupo Orito.	65
Figura 23. Distribución de densidad de movimientos en masa, de acuerdo a su tipo o mecanismo.....	68
Figura 24. Distribución de la densidad de movimientos en masa, de acuerdo a su unidad litológica.	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Coordenadas planas de la Plancha 368-San Vicente del Caguán.....	23
Tabla 2: Calificación del relieve relativo.....	29
Tabla 3: Calificación de la inclinación de la ladera.....	30
Tabla 4: Calificación de los depósitos cuaternarios.	33
Tabla 5. Tipos de movimientos en masa	36
Tabla 6: Características de los movimientos registrados en la zona de estudio. ...	66

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Base cartográfica de la Plancha 368, San Vicente del Caguán, Escala 1:100.000.....	76
ANEXO B. Mapa geológico de la Plancha 368, San Vicente del Caguán, Escala 1:100.000.....	77
ANEXO C. Mapa morfodinámico de la Plancha 368, San Vicente del Caguán, Escala 1:100.00.....	78

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS MORFODINÁMICO COMO CONTRIBUCIÓN PARA LA GENERACIÓN DEL ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA RELATIVA, EN LA PLANCHA 368, SAN VICENTE DEL CAGUÁN, ESCALA 1:100.000, DEPARTAMENTO DEL CAQUETA.*

AUTOR: Marlon Steven Florez Cacua**

PALABRAS CLAVE: Movimientos en masa, zonificación, morfodinámica, elementos fisiográficos, procesos geodinámicos.

DESCRIPCIÓN

La elaboración del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa requiere de varios insumos importantes, en los que se encuentra la variable morfodinámica. En este documento presentado como Proyecto de tesis definido en la modalidad de pasantía de investigación, se desarrollan los parámetros que definen las características de los elementos fisiográficos de la variable morfodinámica, que implica el componente de relieve, los depósitos cuaternarios y los movimientos en masa, de la zona de estudio, para la Plancha 368-San Vicente del Caguán.

La morfodinámica es un atributo que se desprende de la variable geomorfológica 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.

La Plancha 368 San Vicente del Caguán, presenta zonas semi planas con baja pendiente, las cuales no presentan impedimentos para generar movimientos en masa, además las rocas metamórficas de la unidad Migmatitas de Florencia por más que presente una gran dureza no dificulta la posibilidad de desarrollar deslizamientos. En las áreas donde se ubican los depósitos cuaternarios se esperaba un alto porcentaje de movimientos en masa pero analizando los resultados se observa un bajo porcentaje de estos.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Joaquín Andrés Valencia Ortiz.

ABSTRACT

TITLE:

AUTHOR: Marlon Steven Florez Cacua**

KEYWORDS: mass movement, zoning, morphodynamic, elements physiographic, geodynamic processes.

DESCRIPTION

The making of the hazard map zonification by mass movements require a very important amount of supplies, in wich you can find the morphodynamic variable. In this document presented as thesis Project defined as a research internship, develop parameters that define the elements physiographic characteristics of the morphodynamic variable, involving relief component, the quaternary deposits and the mass movements of the study zone, for the Board 368 San Vicente del Caguán.

The morphodynamics is an attribute that emerges from the geomorphological variable that is external (mainly denudativos), both ancient and recent geodynamic processes that have shaped and continue to shape the relief and are responsible for the current state of the landforms or land units .

The Board 368 San Vicente, has semi flat and low slope areas, which have no impediments to generate mass movements, besides the high hardness the metamorphic rocks of the migmatite Florencia unit but not this makes it difficult to develop landslides. In the areas where The Quaternary deposits are located a have high percentage of landslides expected, but analyzing the results of such a low percentage is observed.

*Graduate Project

**Faculty of Physical and Chemical Engineering. Geology School. Director: Joaquín Andrés Valencia Ortiz.

INTRODUCCIÓN

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.

La caracterización morfodinámica permite identificar, definir y calificar la evolución de los procesos denudativos que corresponde a erosión y movimientos en masa, determinados por las fuerzas de cambio, capaces de obtener, transportar y depositar los productos provenientes de la meteorización y de la sedimentación, actuando como agentes morfodinámicos: la escorrentía del agua lluvia y la dinámica tectónica, estos siendo los más importantes, que han ocurrido en un área determinada (Leiva et al, 2012).

La generación del atributo morfodinámico se ejecuta a través de un proceso de agrupamiento el cual se constituye: comenzando por la representación cartográfica de los suelos transportados vistos como geoformas, la recopilación de información registrada en la base nacional del inventario de procesos (movimientos en masa) con su debido análisis, fotointerpretación, recolección de datos de movimientos presentes en la fase de campo y dispuestos en los formatos de inventario de campo además las variables geométricas derivadas del modelo DEM (índice de relieve relativo, inclinación de la ladera y la combinación de estos dos) desarrollando mapas, los cuales son generados a partir de procesos matemáticos aplicados en un software especializado en SIG. Mediante la asociación de estas variables se puede realizar un análisis del comportamiento y trazo del relieve, teniendo en cuenta la distribución de los movimientos en masa y además efectuando la comparación entre las características del terreno con los diferentes agente que la están afectando.

Sumando a lo anterior, también se debe tener en cuenta el cambio climático, los cambios en el uso del suelo y una mayor exposición de la población generan un mayor aumento de desastres naturales, produciendo deslizamientos, caídas, flujos, reptación, etc., de diferentes tipos de material como, roca, detritos, suelo y tierra; generando afectaciones económicas, de infraestructura, ambientales y sociales por movimientos en masa. Los procesos morfodinámicos son esenciales para la caracterización de la amenaza relativa por movimientos en masa.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Generar información de apoyo para el análisis morfodinámico, que servirá de insumo para la zonificación de la amenaza relativa de la Plancha 368, San Vicente del Caguán, Departamento del Caquetá.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Hallar el índice de relieve relativo (RR) y la inclinación de la ladera (IL) que son los elementos fisiográficos, mediante algoritmos utilizados dentro del software ARCGIS.
- Generar el componente de relieve (RelaIncli), la cual surge de la combinación del relieve relativo y la inclinación de la ladera.
- Definir los depósitos cuaternarios que se asocian a ambientes geomorfológicos, para interpretar los suelos que han sido transportados.
- Registrar los movimientos en masa que se generaron en la Plancha 368, San Vicente del Caguán.
- Determinar e ilustrar con análisis estadístico los movimientos en masa además de los tipos de factores que los producen y predominan en la zona de estudio.
- Realizar la correlación entre dichas variables, que contribuyen a la zonificación relativa para la Plancha 368-San Vicente del Caguán.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a los grandes desastres ocasionados en la época invernal del año 2010, que desestabilizó el terreno en gran parte del país, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), lleva a cabo el proyecto del mapa nacional de amenaza por movimientos en masa (escala: 1:100.000), de la mano con todas las universidades del país que cuentan con el programa de geología, y la Universidad Industrial de Santander (UIS) es participe de este proyecto.

Teniendo en cuenta lo anterior se observa que las olas invernales también afectaron considerablemente la Plancha 368, San Vicente del Caguán (Figura 1), ubicada en el Departamento del Caquetá, por tal motivo se efectuará la pasantía de investigación en dicha zona.

El área de estudio está controlada tectónicamente por el sistema de fallas del Doncello hacia el este, marcando el límite del Macizo de Garzón con la vertiente oriental de la Cordillera Oriental y al centro el sistema de fallas Caguán, definiendo el límite del piedemonte oriental de la Cordillera Oriental con la Llanura Amazónica. Drenada por el Rio Guayas al este, el Río Riecito al centro y los ríos Caguán y Pato hacia el oeste.

De acuerdo a lo anterior la zona de estudio marca un gran contraste de relieve, mostrando prominencias topográficas muy bajas hacia la parte oriental, asociadas geológicamente a rocas sedimentarias del paleógeno y neógeno, y depósitos cuaternarios, pasando a prominencias altas en la parte central y occidental, modelando las rocas metamórficas del Complejo Garzón.

En la actualidad no existe un estudio morfodinámico a escala 1:100.000 en la zona de interés, que, aunque es regional, aporta información importante para identificar

las zonas más y menos susceptibles a movimientos en masa ante el detonante de lluvia.

De esta manera, resulta conveniente analizar y caracterizar esta zona en términos geológicos, morfodinámicos y morfométricos; los cuales, servirán de insumo para evaluar la amenaza y la susceptibilidad, e identificar los sectores más vulnerables a procesos de denudación intensa, que debilitan en relieve y generan movimientos en masa.

3 JUSTIFICACIÓN

La ley 1523 de 2012, por la cual, se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones; menciona que es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano la gestión del riesgo, como un proceso social para la reducción del riesgo y el manejo de desastres, con el propósito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible del país.

En el artículo 6 de dicha ley, se establecen tres procesos: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres; para optimizar las acciones y llegar al cumplimiento de la ley. Mediante el proceso de conocimiento del riesgo se identifican, evalúan y analizan las condiciones del riesgo a través de sus principales factores, sus causas y sus actores causales. Incluyendo el monitoreo de estos, así como, la comunicación del riesgo.

El riesgo es el resultado directo en espacio y tiempo, de una amenaza de magnitud determinada por un elemento relativamente vulnerable a ella. Por ende el riesgo depende de la amenaza y del grado de vulnerabilidad.

De acuerdo con lo anterior es necesario determinar la probabilidad de la amenaza relativa, la cual se determina con base en varios insumos incluidos, la caracterización de movimientos en masa, que corresponde al tema de este proyecto.

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 Universidad Industrial de Santander, la Escuela de Geología ha firmado el Convenio 041/13 con el Servicio Geológico Colombiano, para realizar este proyecto en 15 planchas en el denominado “Bloque 14” divididas así en los siguientes departamentos: Norte de Santander (planchas 122,111B), Arauca (planchas 138,154,123), Meta (planchas 324,325,347), Caquetá (Planchas 346,368,391,414,413,431), Putumayo (449). Se procede a caracterizar el área que cubre el Municipio mediante el inventario y clasificación de los fenómenos morfodinámicos por medio del **“Formato modificado para el inventario de movimientos en masa en su versión 2012”**, suministrado por el Servicio Geológico Colombiano (S.G.C.) El inventario de movimientos en masa es un elemento base de los estudios de zonificación de amenazas naturales con el cual se compara y establece las condiciones bajo las cuales ocurren, se analizan los contextos geológicos, climáticos y antrópicos, además de identificar en forma preliminar zonas con mayor susceptibilidad a desarrollar movimientos en masa, especialmente bajo condiciones externas como lluvias fuertes o sismos.

La información generada a escala 1:100.000 servirá de base para futuros estudios detallados que sean base para la planeación de proyectos de infraestructura, mitigación del riesgo y manejo de desastres generados a partir de movimientos en masa que afecten el desarrollo sostenible de la región y del país. El levantamiento y registro de movimientos en masa 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 cada una de las planchas objeto de este estudio.

4 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende la Plancha 368-San Vicente del Caguán (Figura 1), cuenta con un área de 1800 km², hacia el noreste del departamento del Caquetá y al oeste del departamento del Meta. El municipio de San Vicente del Caguán es el centro urbanístico de la plancha y de la cual se extiende todo el sistema vial conectando casi toda su área rural.

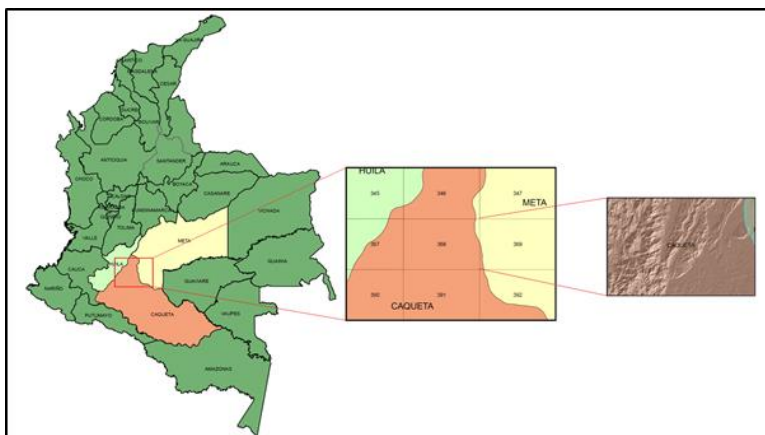
La plancha se encuentra referenciada con el Datum Magna-Sirgas, origen Bogotá Central. La Tabla 1 muestra los vértices de las coordenadas planas del área de estudio.

Tabla 1: Coordenadas planas de la Plancha 368-San Vicente del Caguán

COORDENADAS PLANAS	
X	Y
880.000	720.000
940.000	760.000

Fuente: Autor

Figura 1. Localización de la zona de estudio, Plancha 368, San Vicente del Caguán.

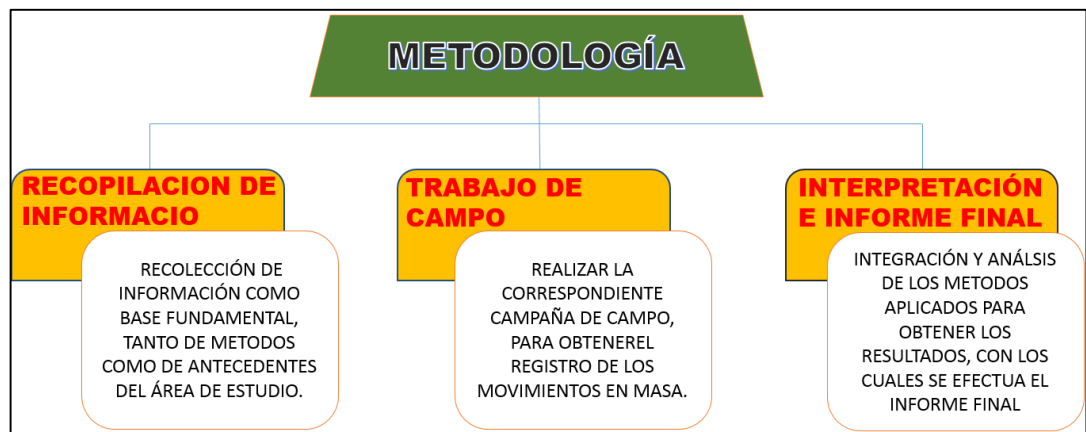


Fuente: Autor

5 METODOLOGÍA

Para lograr el desarrollo de la pasantía de investigación se destinaron diferentes actividades de carácter específico y continuo, las cuales se dividen en 3 fases de trabajo para el desarrollo de su ejecución: la primera es la compilación y análisis de la información, seguido de un trabajo de campo, por último y más importante los resultados, interpretación e informe final, como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Esquema de la metodología del trabajo.



Fuente: Autor

5.1 COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se lleva a cabo una recopilación de información de la Plancha 368 San Vicente del Caguán, la cual será utilizada como base fundamental del presente estudio. Se realizara una integración del material hallado y con ello se obtendrá una idea clara y concisa del área de investigación. De la cual se desea obtener las características geológicas, morfodinámicas y morfométricas del área.

Con material consultado se inicia a describir los antecedentes, como las características geológicas, tectónicas de la plancha y las amenazas geológicas (erosión y movimientos en masa) que están afectando el relieve. Igualmente la búsqueda de información de los diferentes tipos de movimientos ubicados dentro de la base de datos del Servicio Geológico Colombiano (SGC), denominada, SIMMA (Sistema de Información de Movimientos en Masa), que es una de las fuentes principales; así como la integración de herramientas como el Google Earth, por medio de imágenes satelitales. Incorporación de los elementos fisiográficos del terreno para mejoramiento de la calidad de los datos suministrados por la herramienta de procesamiento ArcGis.

5.2 TRABAJO DE CAMPO

Se llevó a cabo un trabajo de campo en la zona de investigación (Figura 1), para identificar, caracterizar y registrar los movimientos en masa que se presentan en gran parte del área de estudio; así como observar el terreno, realizar un registro fotográfico, y definir los agentes que han afectado el relieve e influenciado en la generación de amenazas geológicas.

Dicho registro de los movimientos se plasmará en un formato generado por el SGC llamado, ***“Formato Modificado para Inventario de Movimientos en Masa Versión 2012”***.

Para el recorrido de la zona se usa como base la cartografía básica del IGAC a escala 1:100.000, para la Plancha 368-San Vicente del Caguán (Ver ANEXO A).

5.3 RESULTADOS, INTERPRETACIÓN E INFORME FINAL

La interpretación y discusión de resultados consiste principalmente en analizar y relacionar las variables morfodinámicas, geológicas, estadísticas y morfométricas;

que sirva de insumo para el Mapa Nacional de Amenaza por Movimientos en Masa, Escala 1:100.000, para identificar las zonas susceptibles.

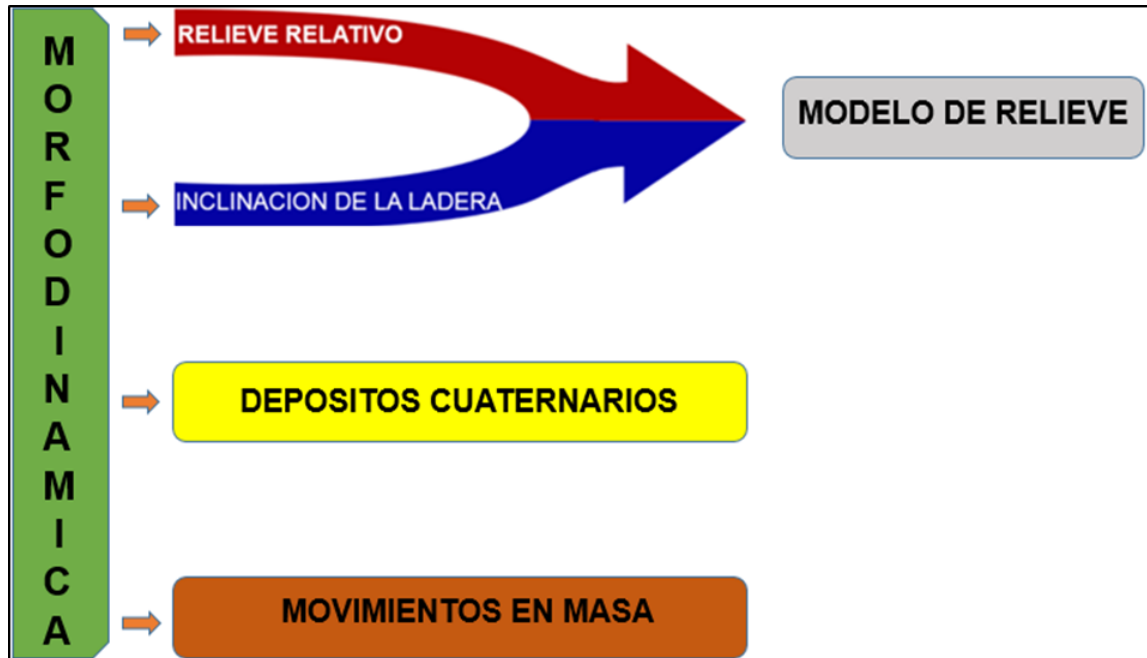
En la etapa final se realizara la interpretación debida con cada uno de los resultados obtenido y posteriormente un análisis concluyente para generar las conclusiones del trabajo realizado. Al finalizar el proyecto este será entregado para que sea puesto a una revisión minuciosa de la ortografía y coherencia del mismo, para finalmente publicarlo y sustentarlo.

6 MARCO TEÓRICO

La morfodinámica es un atributo que hace parte de la geomorfología, y trata sobre todos los movimientos que puede experimentar un cuerpo en un área definida. Este trabajo se enfoca sustancialmente en los procesos geodinámicos externos (principalmente los denudativos), tanto por desplazamientos antiguos que ya modelaron el paisaje tiempo atrás, como a los movimientos recientes que están contribuyendo al nuevo trazado del relieve; todo lo mencionado anteriormente son los responsables directos del estado actual de la morfología del terreno. Con la morfodinámica también se puede delimitar las áreas afectadas y relatar los procesos a los que han sido expuestos para favorecer los movimientos en masa

Para el estudio de este trabajo se realizó un esquema (figura 3) el cual ilustra las variables que constituyen el atributo de morfodinámica, donde se inicia con un procesamiento de diferencia de cotas con respecto a la inclinación que se presentan una geoforma, este procesamiento es efectuado bajo el entorno de procesamiento de la herramienta ArcGis, luego se sigue al estudio de los depósitos cuaternarios para saber en qué rango de la susceptibilidad se encuentra ubicado cada uno de estos cuerpos y posteriormente el registro de los movimientos en masa ya sea que se saquen de la base del Servicio Geológico Colombiano (SGC), como también por los obtenidos en campo.

Figura 3. Partes que componen a la morfodinámica.



Fuente: Autor

5.4 COMPONENTE DE RELIEVE

5.4.1 Relieve relativo

El relieve relativo (RR) es un elemento fisiográfico que representa un valor, este valor es el promedio generado de la diferencia de alturas que posee una geoforma sin tener en cuenta el nivel del mar. Lo que hace el software con sus algoritmos es medir las alturas que posee un área definida, luego realiza una diferencia entre la altura máxima con la altura mínima, dando como resultado el valor buscado el cual es la máxima diferencia de altura del terreno por Km².

Para obtener el análisis del relieve relativo se genera un proceso de cálculos bajo la plataforma del Software ArcGis, donde ejecutando con el comando (FocalRange) se observa la variación del tamaño del pixel, al cual se le asigna un

parámetro de 30 píxeles que es el valor aproximado de un kilómetro cuadrado, (para un Modelo Digital de Elevaciones DEM de un arcosegundo.), (Leyva *et al.*, 2013).

Lo que hace el relieve relativo es calificar una geoforma, a partir de la comparación de las alturas y unidades geológicas del terreno como se muestra en la Tabla 2, donde se aprecia la resistencia que presenta el material en función de la variable altura.

Tabla 2: Calificación del relieve relativo.

INTERVALOS DE ALTURA	DESCRIPCION DEL RELIEVE	RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL	CALRELIE
< 50m	Muy bajo.	Materiales muy blandos y erosionables.	1
50 – 200 m	Bajo.	Blando erosionable.	1
200 – 400 m	Moderado.	Moderadamente blando y erosión alta.	2
400 – 1000 m	Alto.	Resistente y erosión moderada.	3
1000 – 2500 m	Muy alto.	Muy resistente y erosión baja.	3
> 2500 m	Extremadamente alto.	Extremadamente resistente y erosión muy baja.	3

Fuente: Tomado de Leyva *et al.*, 2013.

5.4.2 Inclinación de la ladera

La inclinación de la ladera (IL) es un elemento que se encuentra relacionado tanto con el tipo de material que constituye el cuerpo de la geoforma, como también a la susceptibilidad que esta área presenta para formar movimientos en masa. Aunque

si es un factor dinámico importante, esta relación en todos los casos no es correlacionable y depende principalmente del tipo de material que la constituye.

La inclinación de la ladera es un insumo que se genera utilizando la herramienta ArcGis, donde la calificación (**CalIncli**) como se observa en la Tabla 3, utiliza los grados de la pendiente de la geoforma y los relaciona con los diferentes tipos de materiales que se observan en el terreno, se establece una relación entre la erosión que afecta al terreno y la superficie que se encuentra expuesta, para determinar el grado de susceptibilidad que presenta el área (Leyva *et al.*, 2013).

Tabla 3: Calificación de la inclinación de la ladera

INCLINACION (Grados)	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y	CALINCLI
< 5	Plana a suavemente	Muy blanda y Muy baja susceptibilidad a MM.	1
5 – 10	Inclinada.	Blanda y baja MM.	1
10 – 15	Muy Inclinada.	Moderadamente Blanda y Moderada susceptibilidad a MM.	2
15 – 20	Abrupta.	Moderadamente Resistente y Moderada susceptibilidad a MM.	2
20 – 30	Muy abrupta.	Resistente y Alta susceptibilidad a MM.	3
30 - 45	Escarpada.	Muy Resistente y Alta susceptibilidad a MM.	3
> 45	Muy Escarpada.	Extremadamente Resistente y Alta susceptibilidad a MM.	3

Fuente: Tomado de Leyva *et al.*, 2013.

5.4.3 Modelo relaincli

Es la combinación de los dos elementos mencionados anteriormente (Relieve Relativo y la Inclinación de la Ladera), el cual también se genera a partir de la herramienta ArcGis, es decir, dentro de la plataforma grafica se integran los datos que se utilizaron para hallar los elementos anteriores a los cuales se les van a ejecutar cálculos para dar salida al modelo Relaincli. Con la agrupación de estos dos elementos se realiza una comparación entre el comportamiento de los movimientos en masa registrados en la base nacional o por los eventos ya registrados en el catálogo e inventario de dichos movimientos recolectados en fase de campo.

Con esto se quiere expresar que cada uno de los atributos morfodinámicos contribuye a su desarrollo, en donde los elementos fisiográficos ya sea el relieve relativo o la inclinación de la ladera son atributos significantes, pero por separado no son tan importantes, ya que no brindan la información consistente para determinar la ocurrencia de un movimiento en masa. Pero al realizarse el debido acoplamiento se tiene una información sólida y confiable respecto a la factibilidad de producirse movimientos en masa de un área, además tener un criterio acerca de los procesos de inestabilidad que posiblemente se estén presentando en el área de trabajo. Por ejemplo un área específica con un índice de relieve muy bajo y además un ángulo suave de ladera, tendrá dificultades para ocasionar movimientos en masa, pero si el terreno presenta alturas imponentes y una inclinación de la ladera considerable tiene un alto porcentaje de desarrollar algún tipo de movimiento.

El modelo de relieve (Relaincli) se calcula con la siguiente ecuación, el cual permite que sobre las zonas de relieve relativo se caractericen grados de inclinaciones de ladera.

$$\text{RelIncli} = 0.60 * \text{RR} + 0.40 \text{ IL}$$

Los límites de calificación de este modelo de relieve se determinan sobre la base que es en este en donde se colocaran los elementos geomorfológicos más susceptibles, como son los suelos transportados y los procesos derivados del inventario. (Leyva et al., 2013).

5.5 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Los depósitos cuaternarios están compuestos de fragmentos de rocas preexistentes, los cuales fueron desprendidos por efecto de los procesos denudativos, y transportados por los agentes (agua, hielo o aire) hasta llegar a un área que cuente con condiciones favorables de depositación los cuales son los sitios que ocupan actualmente.

El material que constituye los depósitos cuaternarios es de origen heterogéneo y además no se encuentra consolidado, es decir, aun no son rocas como tal. Dependiendo del medio de transporte se logra hacer la clasificación de los materiales analizando su granulometría, tamaño y forma.

Para empezar a hacer el estudio de los suelos transportados lo primero que hay que realizar es el análisis de sensores remotos como lo son las imágenes satelitales y una interpretación del mapa geológico a escala 1:100.000, también se toman datos alternos como los suministrados por la base nacional del Servicio Geológico Colombiano (SGC), registrados en la plataforma: Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), y por último un conocimiento del área adquirido gracias al trabajo realizado en campo.

En la Tabla 4 se efectuara una calificación de las unidades en función de la susceptibilidad a generar movimientos en masa en un área definido, esta calificación consta de parámetros como cuáles fueron los ambientes de

formación, el tipo de material que lo constituye y la ubicación topográfica en donde se encuentre. Los ambientes de formación de los depósitos cuaternarios son: ambientes denudacionales, ambiente fluvial y lagunar, ambiente marino/costero, ambiente eólico, ambiente volcánico, ambiente glacial y periglacial y por último los ambientes antrópicos. Estos presentan calificaciones entre 1 a 5, donde el valor 1 es una dinámica baja y 5 es un valor donde la susceptibilidad es alta y hay mayor posibilidad de formarse movimientos en masa.

Tabla 4: Calificación de los depósitos cuaternarios.

Ambiente	Depósito	Geoforma Asociada	Equivalente geológico	Califica
Eólico	Depósito de arenas	Dunas, Dunas arriguas, Dunas Transversales, Barjanes o Barchanes, Dunas Longitudinales, Dunas parabólicas, Dunas costeras sin diferenciar, Campo de dunas remontantes, Campo de dunas de sombra, Mantos de arena eólica	Qe/Q1-ep	2
	Depósito de loees	Mantos de Loess	Qe/Q1-ep	2,5
Volcánico	Depósito de caída piroclástica	Manto de piroclastos	Qvb	5
	Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza	Manto de piroclastos, Flujo piroclásticoaterrazado y Escarpe de flujo piroclásticoaterrazado	Qc/Qto	4
	Depósito de flujo piroclástico de ceniza y pómez o ignimbrita	Manto de piroclastos, Flujo piroclásticoaterrazado y Escarpe de flujo piroclásticoaterrazado	Qvb	5
	Depósito de oleada piroclástica	Manto de piroclastos	Qpi	5
	Depósito de avalancha de escombros	Campo de Hummocks	Qfl/Qaecvnh	4
	Depósito de flujo de escombros o <i>lahar</i> o flujo de lodo volcánico	Flujo laháricoaterrazado, Escarpe de flujo laháricoaterrazado y cono lahárico.	Qf/Qfl/Qva/	3
Glacial y periglacial	Depósitos fluvioglaciares/glaciofluviales	Eskers y Kames	Qf/Qmfg/Qg/Qfg/Qmfg	4
	Depósitos glaciolacustres	Planos glaciolacustrinos	Qf/Qg	2
	Depósito glacial till de ablación	Morrenas frontales y laterales	Qf/Qg/Qma/Qm/Qmr/Qmfg	3,5
	Depósito glacial till basal	Morrenas de fondo y morrenas periglaciales.	Qf/Qg	3
Antrópico	Rellenos de basuras o rellenos sanitarios	Rellenos de basuras o rellenos sanitarios		5

Ambiente	Depósito	Geoforma Asociada	Equivalente geológico	Califica
Denudacional	Depósitos coluviales	Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción y Conos de deyección, Glacis de acumulación	Qc/Qd/Q2v/Qt1/Q/Q2c/Qdp/Qcol/Qdt/Qac/Qtff/Qgd1/Qgd2	5
	Depósitos de detritos	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de detritos, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de detritos.	Qco/Q/Qdt	4
	Depósitos de tierras	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de tierras, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de tierras	Qco	5
	Depósitos de terraza sobre elevada	Terraza sobreelevada o colgada	Qt1	4
	Depósitos costras ferruginosas o calcáreas	Planos aterrazados o duricostras, Terrazas o mesas calcretas o silicretas	Qcf	1
	Depósitos lodos	Cono o lóbulo de flujo de lodo	Qfl	5
Fluvial y Lagunar	Depósitos de cauce y llanura aluvial	Cauce activo y abandonado, albardones, barras, cuencas de decantación, lagos en media luna, lagunas naturales, meandros abandonados, planicie o llanura de inundación, planicies y deltas lacustrinos, planos anegadizos, planos y artozas lagunares	Qal2/Qac/Qar/Qal/Q2-al/Qalu - Qal/Q2cal/Qo1/Qa/Q2-aldi/Qb/Qall/Q2-alpr/Qlal/Qo2/Q2alh/Q2alca	1
	Depósitos de terrazas aluvial	Terrazas de erosión, terrazas de acumulación subreciente, terrazas de acumulación antigua, terrazas de depositación y escarpes de terraza	Qt/Qt2/Q2t2	2
	Depósitos paudales	Artozas lagunares y planos anegadizos.	Q2m/Q2alp	1
	Depósitos lagunares	Lagos en media luna y meandros abandonados.	Q2l/Ql/Q2l/Qfl/Qlp	1
	Depósitos de abanicos aluviales	Abanicos fluviotorrenciales, conos de deyección, deltas de desborde natural, deltas lacustrinos y escarpes de abanicos fluviales.	Qab/Q2cal/Qc/Q1ab/Q2g/Q1ab/Qaa/Qap1/Qcal	3
Marino/Costero	Depósitos marino aluviales	Llanuras costeras	Q2mlm (Q2ml)/Qes	2
	Depósitos intermareales	Planos de inundación	Q2mlm (Q2ml)	1
	Sustrato de manglar	Planos y llanuras con vegetación halófila	Q2mlm (Q2ml)/m/Qm	1
	Depósitos de playón	Tómbolo, espigas, barras litorales y playones	Q2mlm (Q2ml)/Q2ib	1
	Depósitos de origen arrecifal	Bajos arrecifales, Isla	Q2mlm (Q2ml)	1,5
	Depósitos de playa y dunas	Abanico de sobrelavado, Lóbulos y planos deltaicos actuales, Complejos de crestas y artozas de playa, Complejo de crestas y artozas de playa (planos de crestas de playa, playas antiguas)	Qp/p/Q2p/Qpl	1,5



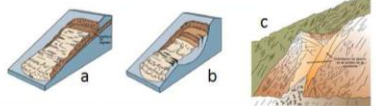
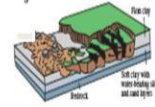
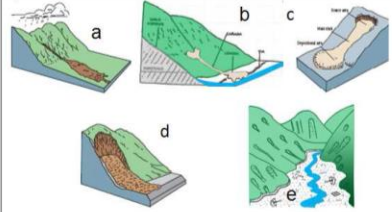

Fuente: Tomado de Leyva et al., 2013

5.6 MOVIMIENTOS EN MASA

El concepto de movimiento en masa incluye a todo los desplazamiento descendente del suelo, rocas y material orgánico que se encuentran sometido bajo el efecto de la gravedad. Los movimientos en masa se pueden presentar rápida o lentamente, difusos e imperceptibles o definidos con límites claros y con contenido de agua o secos (PMA-GEMMA, 2007).

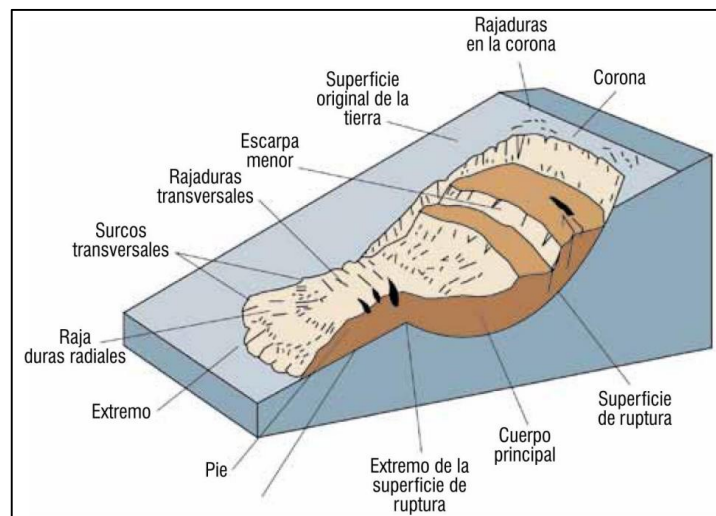
En la tabla 5 se observa los diferentes tipos de movimientos en masa, con los cuales se va a clasificar el área de estudio, en donde a cada uno de los movimiento se le tiene importancia el subtipo de movimiento y la morfología que esta presenta (Leyva et al., 2012). Además para lograr una correcta clasificación de los movimientos en masa es muy importante conocer e identificar las partes principales de un deslizamiento como se muestra en la figura 4.

Tabla 5. Tipos de movimientos en masa

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) Soliflucción (b) Geliflucción (en permafrost)	

Fuente: Tomado y modificado de PMA-GEMMA (2007), en Leyva et al., 2012

Figura 4. Partes básicas de un movimiento en masa



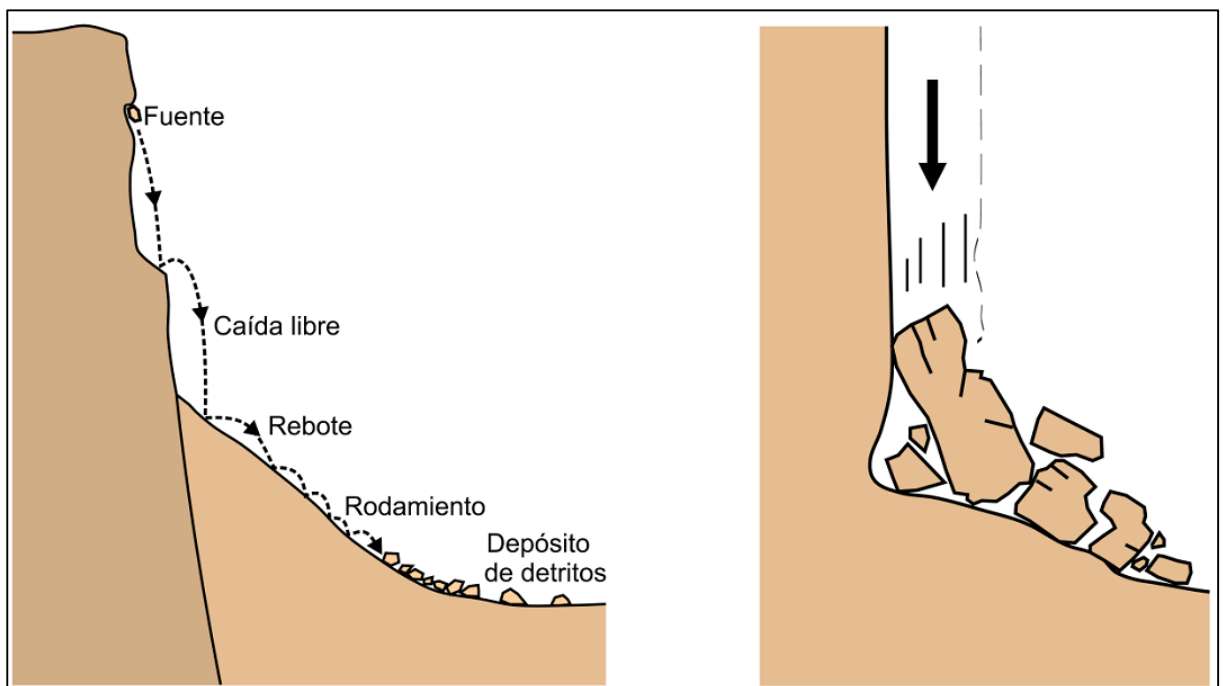
Fuente: Tomado del Servicio Geológico de EEUU, 2008.

5.6.1 Caída de roca

Es un movimiento descendente conocido en física como una caída libre, ya que un cuerpo de roca, detrito y/o suelo, se está desprendiendo de un terreno escarpado hasta llegar a caer por efecto de la gravedad. El material que cae suele golpear el talud inferior con un ángulo menor que el del ángulo de caída lo que ocasiona un rebote, (*Highland et al., 2008*).

Dependiendo del material que se está desprendiendo (roca, detritos o suelos), se habla si es una caída de roca, una caída de detritos o una caída de suelos. En la Figura 5 se observa un gráfico de caída de roca, este tipo de movimiento ocurre extremadamente rápido (*PMA-GEMMA, 2007*).

Figura 5. Diagrama ilustrativo de caída de rocas



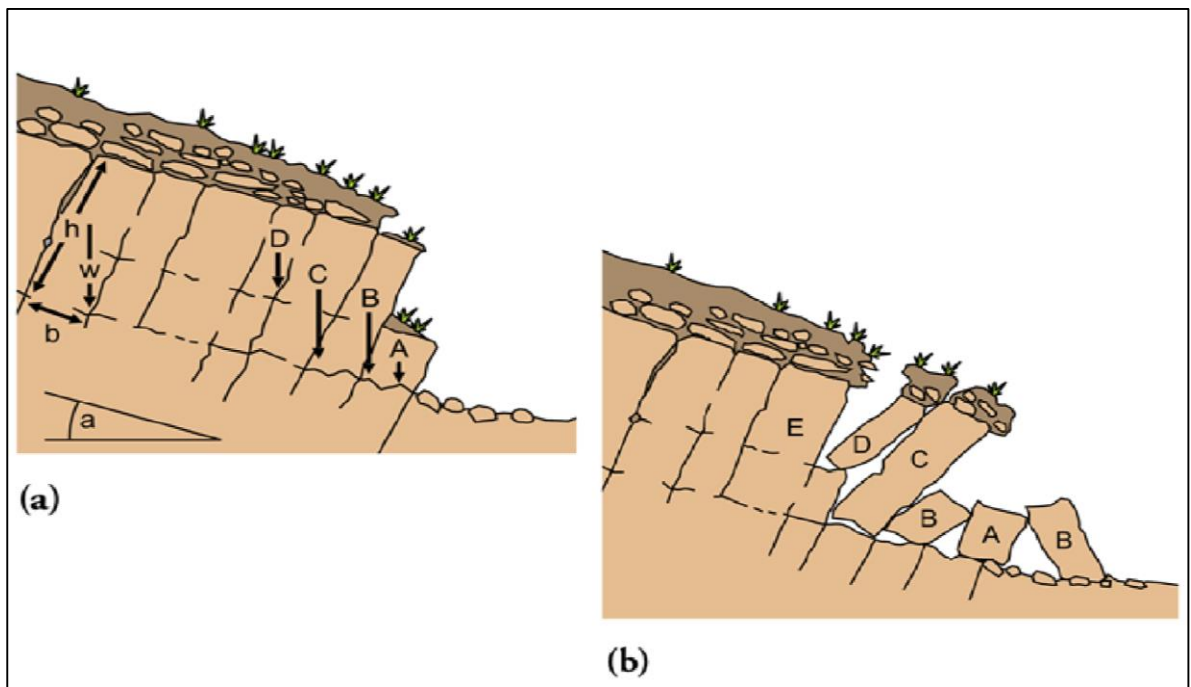
Fuente: Tomado de PMA-GEMMA, 2007.

5.6.2 Volcamiento

Es un movimiento parabólico o casi parabólico que realiza uno o varios bloques de roca, detrito y/o suelos, los cuales pareciera tener un eje o pivote en el centro del movimiento, por tal motivo se puede distinguir en que parte iba el material desprendido antes de ocurrir el volcamiento. Este volcamiento puede ser en bloque, flexional (o flexural) y flexional del macizo rocoso (PMA, 2007)

En la Figura 6 hay dos gráficos que muestran el comportamiento de un volcamiento, en el gráfico (a) se observa una masa de roca, y a esta se le hace una división en segmentos para observa su distribución antes de sufrir cualquier desplazamiento, y en el grafico (b) ya después de sufrir el volcamiento, se observa el desplazamiento de cada uno de los segmentos y la nueva ubicación posterior al movimiento.

Figura 6. Diagrama ilustrativo de volcamiento



Fuente: Tomado de PMA-GEMMA, 2007.

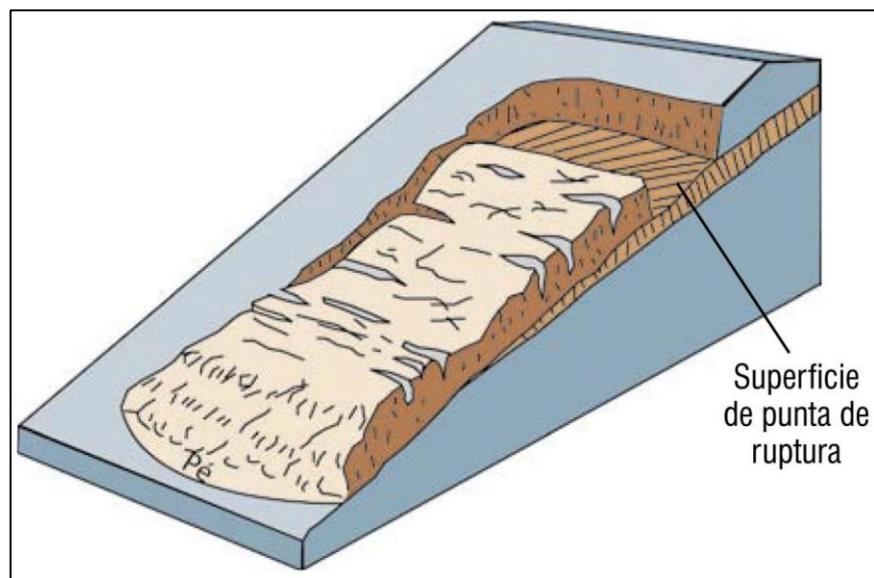
5.6.3 DeslizamientoS

Un cuerpo rocoso o un vasto terreno, sufren un movimiento descendente, el cual se ubica dentro de una superficie de rotura o en una zona relativamente delgada de intensa deformación de corte (*Highland et al., 2008*). 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 (PMA, 2007).

5.6.3.1 Deslizamiento traslacional

El deslizamiento traslacional es un movimiento donde la masa desplazada se mueve de dos formas; una hacia afuera y la otra hacia abajo y afuera, en un terreno donde la superficie es relativamente plana con poco movimientos de rotación o inclinación hacia atrás. Además los deslizamientos traslacionales (ver Figura 7), pueden desplazarse por unas distancias moderadamente largas si el ángulo de la superficie de rotura es considerable (*Highland et al., 2008*).

Figura 7. Diagrama ilustrativo de un deslizamiento traslacional.



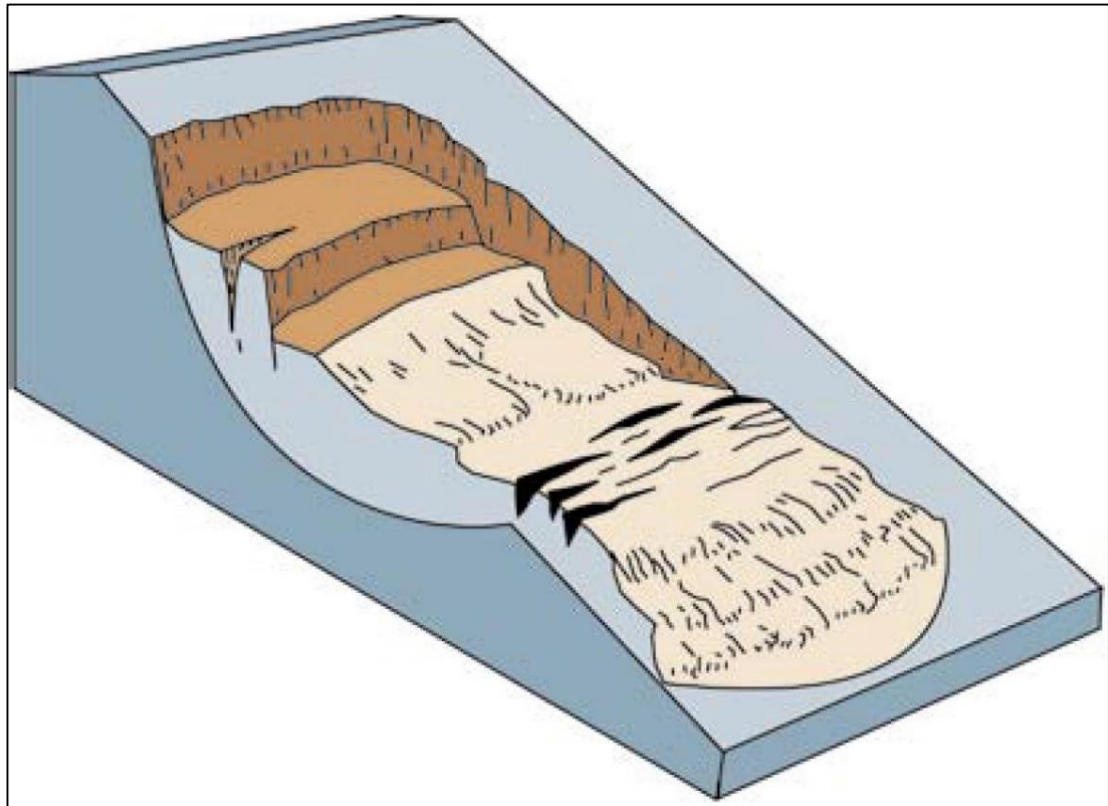
Fuente: Tomado del Servicio Geológico de EEUU, 2008.

5.6.3.2 _Deslizamiento rotacional

Los deslizamientos rotacionales, son movimientos descendentes donde los materiales se desplazan a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava, desarrollando una morfología característica de este deslizamiento (forma de cuchara). Son movimientos que pueden ocurrir rápida o lentamente y el material que transporta suele sufrir muy poca deformación interna a menos que sean arcillas, (PMA, 2007).

Además de observarse una forma de cuchara, también se visualiza que el material desarrolla una forma escalonada desde el techo hasta el centro del cuerpo, donde el material es dispuesto, como se observa en la Figura 8.

Figura 8. Diagrama ilustrativo de un deslizamiento rotacional.



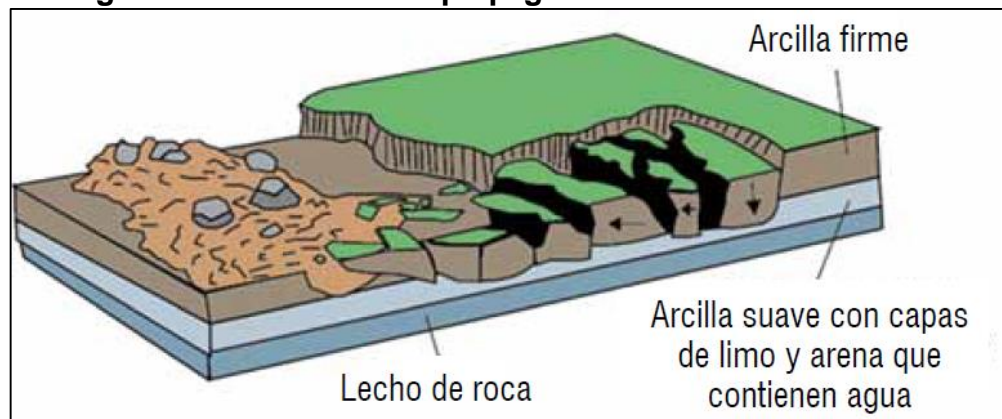
Fuente: Tomado del Servicio Geológico de EEUU, 2008.

5.6.4 Propagación lateral

La propagación lateral es un movimiento en masa donde el terreno sufre una deformación interna la cual ocasiona una expansión del material, esto suele ocurrir en suelos de superficie plana o de poca ondulación, casi siempre son suelos donde las rocas duras están por encima de las rocas más frágiles, (PMA, 2007).

En la figura 9, se visualiza el comportamiento de este movimiento, como característica principal el suelo que se encuentra en la base, es menos compacto y resistente en comparación al que lo sobrepone, y otra por una deformación interna, es decir expansión del material

Figura 9. Diagrama ilustrativo de una propagación lateral.



Fuente: Tomado del Servicio Geológico de EEUU, 2008.

5.6.5 Flujos

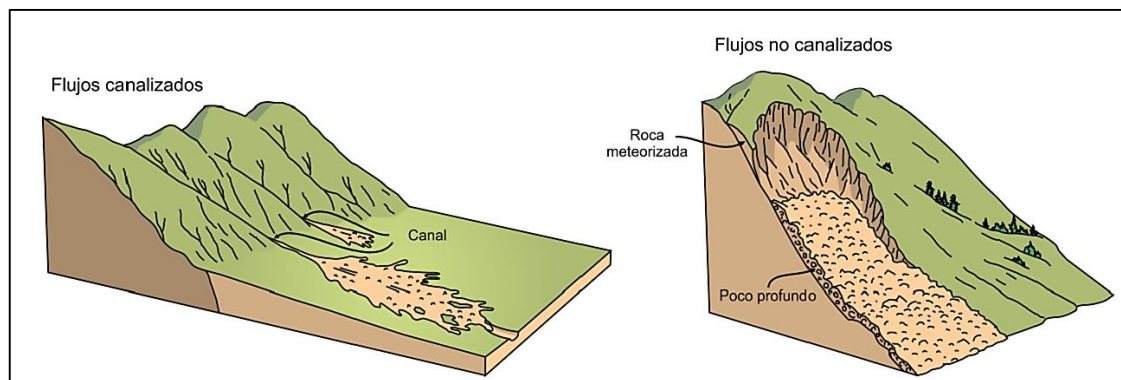
Los flujos son un tipo de movimiento en masa en donde el material transportado presenta una conducta similar al de un fluido; puede ser un movimiento rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída de roca (PMA, 2007).

Es un tipo de movimiento en masa rápido, donde los materiales como; tierra suelta, rocas y materia orgánica empiezan a combinarse durante su mismo descenso, todo este material acumulado a veces adquiere un contenido agua con el cual se forma una pasta que fluye ladera abajo (Highland *et al.*, 2008).

Hay diferentes tipos de flujos los cuales dependen del tipo de material arrastrado, si es flujo de detritos o de tierras, si la presencia del agua existe o es nula y si el flujo se encuentra canalizado o no canalizado, esta última característica como se observa en la figura 10.

Hay que tener en cuenta que los flujos secos son las corrientes de arenas (arenas cohesivas), de material granular. Es un proceso fundamenta en la migración de dunas de arena (PMA-GEMMA, 2007)

Figura 10. Diagrama ilustrativo de flujos.



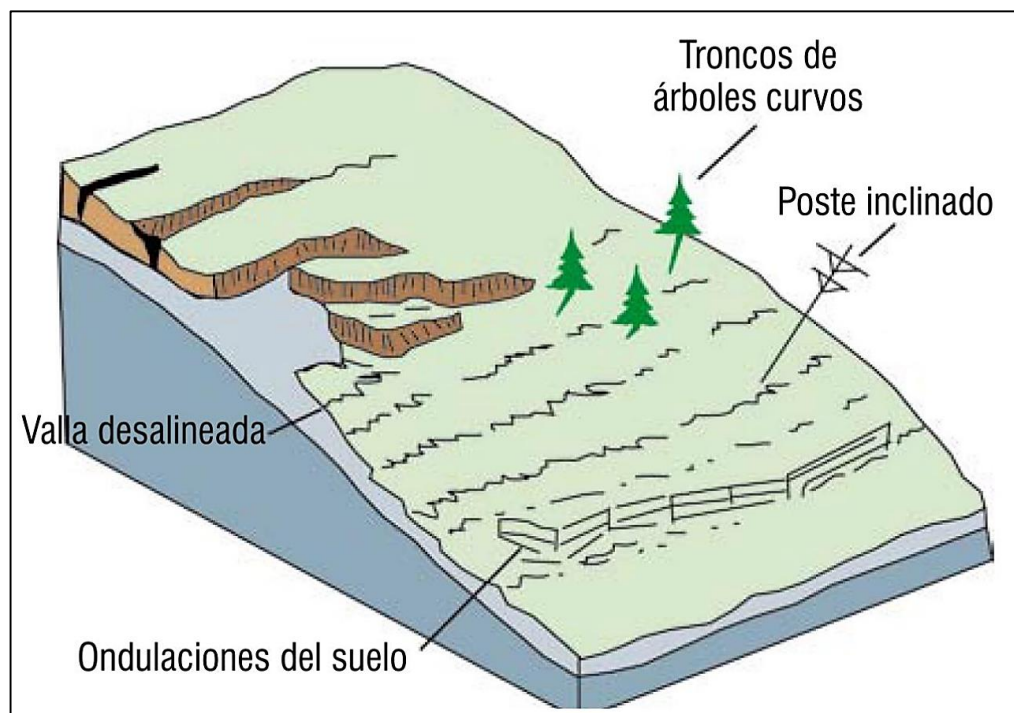
Tomado de PMA-GEMMA, 2007.

5.6.6 Reptación

La reptación es un tipo de movimiento en masa, descendente, lento, constantes y poco notables que sufre el cuerpo de una ladera, los cuales son causados por una tensión cortante interna capaz de deformar pero insuficiente para provocar una falla (Highland *et al.*, 2008).

Como se menciona anteriormente la reptación es un movimiento poco notable, entonces se debe estar muy pendiente y enfocado a la hora de su estudio, unas características básicas son las ondulaciones anómalas que presenta el terreno, y otra los cambios físicos que pueden sufrir los árboles y hasta la misma infraestructura humana como se observa en la Figura 11.

Figura 11. Diagrama ilustrativo de reptación.

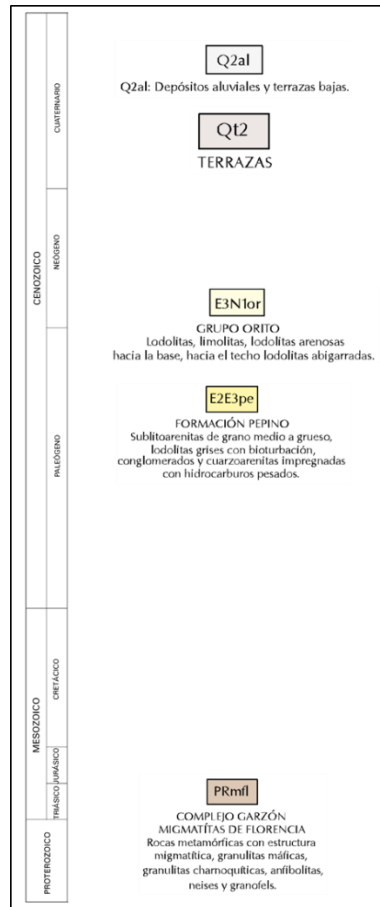


Fuente: Tomado del Servicio Geológico de EEUU, 2008.

6 MARCO GEOLÓGICO

En la Plancha 368 San Vicente del Caguán aflora una secuencia estratigráfica con rocas de edades desde el precámbrico hasta el cuaternario, las cuales se describen desde las más antiguas a las más recientes. Se encuentran distribuidas en diferentes sectores de la zona de estudio. Se distinguen diferentes tipos de material como: rocas metamórficas (Migmatitas de Florencia), rocas sedimentarias (Formación Pepino y Grupo Orito) y depósitos cuaternarios (Terrazas y Aluviales).

Figura 12. Leyenda Geológica tomada y modificado de Rodríguez G, Zapata G, Velazquez M, 2003 INGEOMINAS



Fuente: Tomado y modificado de Rodríguez *et al.*, 2003

5.7 ESTRATIGRAFÍA

5.7.1 Complejo Garzón Migmatitas de Florencia (PRmf)

La unidad geológica Migmatitas de Florencia (PRmf), está constituida por rocas metamórficas de medio a alto grado de metamorfismo pertenecientes al Complejo Garzón (PRcgr). Analizando el mapa geológico de la plancha 368 San Vicente del Caguán, se visualiza que tales rocas se encuentran distribuidas hacia el oeste y cubren un 40% a 50% de la totalidad de la plancha.

Consiste de partes oscuras (melanosoma) y partes claras (leucosoma). Dando como resultado una alta gama de litologías; granulitas máficas, anfibolitas, rocas calcosilicatadas, granulitas ultramáficas, neises, granulitas charnoquíticas, granulitas cuarzofeldespáticas y granofels (Rodríguez *et al.*, 2003).

5.7.2 Formación Pepino (E2E3pe)

La Formación Pepino son rocas sedimentarias que se encuentran localizadas en diversos sectores de la plancha 368 San Vicente del Caguán, donde estas rocas están abarcando un 20% de la totalidad del área de estudio. Analizando el terreno se logra visualizar que ésta unidad se presenta con una forma de lentes o de franjas sobre el terreno y sigue una orientación suroeste-noreste. Además hacia la parte inferior es decir en la base de la Formación Pepino hay un contacto discordante con las rocas procedentes de la unidad Migmatitas de Florencia.

La Formación Pepino fue definida por Saville (1943) en Rodríguez *et al* (2003), se presenta como una franja discontinua en forma de mesas alargadas, aisladas y basculadas hacia el sur y el occidente. INGEOMINAS & GEOESTUDIOS (2000) en Rodríguez *et al* (2003), reconocen tres segmentos principales dentro de la unidad: el inferior, arenoso conglomerático; el intermedio, lodoarenoso; y el

superior conglomerático arenoso, sin encontrar diferencias morfológicas que permitan subdivisiones en miembros (Rodríguez *et al.*, 2003).

5.7.3 Grupo Orito (E2N1or)

El Grupo Orito son rocas sedimentarias localizadas hacia el este de la Plancha 368 San Vicente del Caguán y están cubriendo un 30% del área de estudio. Las rocas de la base del Grupo Orito se encuentran en contacto concordante gradual con las rocas del techo de la Formación Pepino. Se observan en forma masiva hacia el este y en franjas hacia el centro de la plancha.

El Grupo Orito es una unidad definida por geólogos de la Texas Petroleum Company, Miley & McGirk (1948), Se distinguen dentro del Grupo Orito dos niveles difícilmente separables por rasgos geomorfológicos, pero basados en registros de pozo y en la interpretación estructural, INGEOMINAS & GEOESTUDIOS (2000) establecen que estos segmentos podrían corresponder a las formaciones Orteguaza y Belén (McGirk, 1949) (Rodríguez *et al.*, 2003).

5.7.4 Terrazas (Qt2)

En la Llanura Amazónica se diferenciaron morfológicamente las unidades de terrazas altas y terrazas medias. Las terrazas altas están sólo en algunos lugares del río Orteguaza y algunas se observan basculadas por efectos tectónicos. Las terrazas medias son más abundantes en las riberas de todos los ríos y quebradas, en donde su extensión es moderada; las terrazas más extendidas de esta categoría están junto al piedemonte, donde han sido formadas por abanicos aluviales, están conformadas por partículas de gran variedad de tamaño, desde bloques de 4 m de diámetro hasta cantos y guijos, provenientes de rocas metamórficas del Complejo Garzón (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2000) en (Rodríguez *et al.*, 2003).

5.7.5 Depósitos aluviales y terrazas bajas (Q2al)

Los depósitos aluviales y terrazas bajas corresponden a los formados por la actividad reciente de los agentes erosivos como los ríos y la gravedad, estos ocupan y rellenan todas las partes bajas de las corrientes que drenan la Llanura Amazónica. En los principales ríos que drenan la región se han identificado depósitos aluviales recientes (Q2al) que incluyen los depósitos de canal y llanuras de inundación que por la escala del trabajo no se han diferenciado. En los canales se presentan comúnmente gravas de cantos y bloques redondeados, principalmente de rocas volcánicas, ígneas y metamórficas (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2000) en (Rodríguez *et al.*, 2003).

5.8 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

5.8.1 Falla El Doncello

La falla El Doncello se encuentra distribuida hacia el segmento oeste de la Plancha 368, la cual está cortando y limitando las rocas Migmatitas de Florencia (PRmfl) con las rocas de la Formación Pepino (E2E3pe), la dirección de la estructura varía de 20°-70°NE-SW, a lo largo de la trayectoria. Es una falla inversa de cabalgamiento de ángulo bajo (15° a 20°), la cual se divide en las fallas El Doncello Norte y El Doncello Sur, ubicadas en la parte superior e inferior respectivamente dentro de la Plancha 368. La Falla El Doncello fue definida por INGEOMINAS & GEOESTUDIOS (2000) en Rodríguez *et al* (2003) el flanco oriental del Macizo de Garzón, Departamento del Caquetá.

5.8.2 Falla Guayas

El trazo de la Falla Guayas se genera hacia el oeste de la Plancha 368, y se encuentra delimitada por las Fallas Santana Ramos hacia la parte occidental y al

oriente por la Falla El Doncello Norte. Las Migmatitas de Florencia (PRmfl) son las rocas que están siendo atravesadas por la Falla con una dirección de N20°-30°E, generando un cabalgamiento de ángulo bajo con vergencia al sureste y hacia el este en su tramo norte. La Falla Guayas fue definida por INGEOMINAS & GEOESTUDIOS (2000) en Rodríguez *et al* (2003), sobre el flanco oriental del Macizo de Garzón

5.8.3 Falla Lozada

La Falla Lozada se encuentra localizada hacia la parte este de la Plancha 368, y se considera como una extensión más oriental del Sistema de Fallas Caguán según INGEOMINAS & GEOESTUDIOS (2000) en Rodríguez *et al* (2003). Es una falla inversa de cabalgamiento con un trazo sinuoso, además la dirección de rumbo es NE-SW.

La falla genera un levantamiento, el cual deja aflorando sucesivamente a las rocas Migmatitas de Florencia (PRmfl) y a la Formación Pepino (E2E3pe) sobre la el Grupo Orito (E2N1or) que es la unidad más joven.

5.8.4 Falla San Pablo

La Falla San Pablo se encuentra localizada hacia la parte oeste de la Plancha 368 San Vicente del Caguán. Teniendo en cuenta los estudios realizados por Ingeominas en el flanco oriental del Macizo de Garzón, se reconoce que la dirección de la falla es N30°-40°, la cual está atravesando las rocas de la unidad Migmatitas de Florencia (PRmfl). No se conocen los siguientes datos: inclinación del plano de falla ni la magnitud y el sentido del movimiento. La Falla San Pablo fue definida por INGEOMINAS & GEOESTUDIOS (2000) en Rodríguez *et al* (2003).

5.8.5 Falla Santana Ramos

La Falla Santana Ramos se halla localizada en el segmento oeste de la plancha 368 San Vicente de Caguán, en esta área se encuentra ubicada la unidad Migmatitas de Florencia (PRmfl) que está siendo atravesada por la falla con una dirección NE-SW, la cual está generando un cabalgamiento de ángulo bajo. La Falla Santana Ramos fue definida por INGEOMINAS & GEOESTUDIOS (2000) en Rodríguez *et al* (2003), sobre el flanco oriental del Macizo de Garzón, Departamento del Caquetá.

5.8.6 Sistema de Fallas Caguán

El Sistema de Fallas Caguán se encuentra distribuido en la parte central de la Plancha 368 y son llamadas así por el Municipio Caguán y el Rio Caguán. Son fallas inversas de cabalgamiento de ángulo bajo con una dirección NE-SW, y están asociadas a las Fallas del Borde Amazónico según INGEOMINAS & GEOESTUDIOS (2000) en Rodríguez *et al* (2003).

Hacia la parte norte del sistema de fallas se observa que aflora la unidad Migmatitas de Florencia (PRmfl) sobre la Formación Pepino (E2E3pe), en cambio hacia la parte sur del sistema se visualiza que las rocas Migmatitas de Florencia afloran por encima del Grupo Orito (E2N1or)

5.8.7 Anticlinal Lozada

El Anticlinal Lozada se encuentra localizado hacia el este de la Plancha 368, ubicada dentro de la Formación Pepino (E2E3pe), la dirección del plegamiento es N45°-50°E. Está delimitada al occidente por el Sistema de Fallas Caguán y las rocas del Grupo Orito y hacia el oriente por la Falla Lozada y las rocas Migmatitas de Florencia.

5.8.8 Anticlinal y Sinclinal El Arenoso

El Anticlinal y Sinclinal El Arenoso se hallan ubicados hacia el sureste de la Plancha 368, localizados al occidente del municipio de San Vicente del Caguán, la dirección de los plegamientos va de N45-50E. Se desarrollan sobre las rocas del Grupo Orito, delimitado al oeste por el Sistema de Fallas Caguán y las rocas Migmatitas de Florencia.

8. RESULTADOS

8.1 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

El modelo digital de elevación (DEM), es la base para el procesamiento del relieve relativo, la inclinación de la ladera y la combinación de ambos.

A continuación se describe el análisis de los atributos mencionados.

8.1.1 Relieve relativo

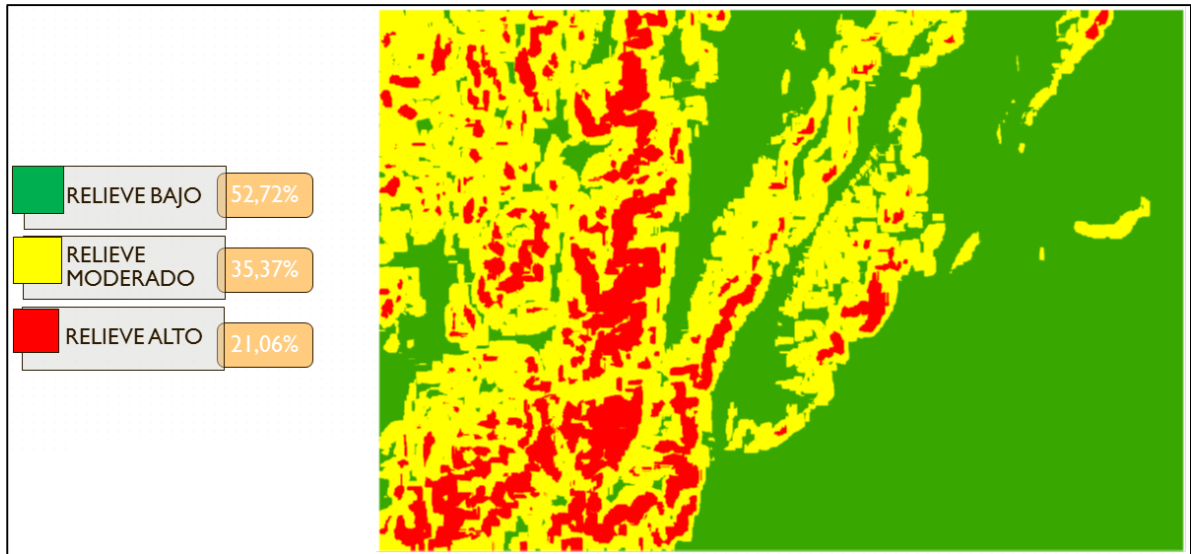
La calificación del Relieve Relativo (RR) realizado en la Plancha 368, utilizo la Tabla 2 como método de valorización, en donde la variable altura indica el tipo de relieve con que se presenta y la resistencia de los materiales a ser erosionados.

La Tabla 2 muestra 3 rangos de clasificación en donde cada uno posee un valor asignado. Por tanto el rango 1, identificado con el valor 1 describe una altura que no sobre pasa los 200 m, indica que los materiales son blandos a muy blandos y la resistencia que presentan es baja. El rango 2, dado con el valor 2, es un relieve moderado donde sus alturas van de 200 m a 400 m, estos materiales son moderadamente blandos, pero la susceptibilidad a ser erosionada es alta. El rango 3, caracterizado con el valor 3 se puede desarrollar de diferentes formas, la primera: un relieve alto sus cotas van de 400 m a 1000 m, son materiales resistentes y la erosión es baja, la segunda: el relieve que presenta el terreno es muy alto sus valores de altura van de 1000 m a 2500 m, son materiales muy resistentes y por este motivo es bajo el desprendimiento de fragmentos, tercero y último: son materiales muy duros de resistencia alta y se encuentran a alturas superiores de 2500 m.

Se observa en la figura 13, que el valor 1 identificado con el color verde, cubre el 52,72 % de la Plancha 368. Se encuentra localizada principalmente hacia la parte oriental de la zona de estudio, también en el centro en forma de pico y en unos pequeños espacios al occidente del terreno. Los segmentos del oriente y centro se constituyen de depósitos cuaternarios aluviales y terrazas que son materiales con poca compactación y baja dureza lo que los hace más factibles a ser desprendidos (erosionados), conformando terrenos planos de gran extensión. Hacia la parte occidental de la plancha se encuentra la unidad geológica Migmatitas de Florencia, son rocas metamórficas que presentan gran dureza y por esta rigidez los materiales presentan un comportamiento menos erosivo.

Para el color amarillo que representa el valor 2, se distribuye especialmente al occidente de la Plancha 368, también se ubican en el centro y en una pequeña parte del segmento oriental. El rango de valores medio cubre un 35,37 % del área total. En el sector occidental se hallan las Migmatitas de Florencia, son rocas cristalinas duras las cuales se encuentran dispuestas en un relieve colinado. Los cuerpos del centro y el oriente de la plancha se encuentran dispuestos en forma de franjas con una orientación suroeste-noreste, donde las rocas Migmatitas de Florencia se encuentran ubicadas en la parte inferior y las rocas sedimentarias de la Formación Pepino y el Grupo Orito se localizan hacia la parte superior, secuencialmente.

Figura 13 . Representación gráfica del procesamiento del Relieve Relativo.



Fuente: Autor.

Ya sea la parte oriental, centro u occidental que este cubriendo el color amarillo, son zonas con alturas que están en el intervalo de los 200 m a 400 m; con respecto a la calificación, son las áreas donde los cuerpos rocosos tendrán mayor afectación ocasionado por los procesos erosivos, y lo confirma las rocas sedimentarias y los depósitos cuaternarios que lo conforman; en comparación con los otros dos colores.

Finalmente el color rojo, que está cubriendo la parte central, y occidental de la plancha principalmente, y un área minúscula en la parte oriental superior, abarcan un 21,06 % de la totalidad del terreno. El primer caso que está más cerca al centro de la plancha, es la zona donde las Migmatitas de Florencia presentan cotas que están en los intervalos de los 1000 m a 2500 m, son los terrenos más altos dentro de la plancha. Estas rocas metamórficas son más resistentes y soportan más a los efectos producidos por los procesos de erosión. Los otros sectores que ocupa este color rojo se encuentran a elevaciones inferiores en comparación al anterior segmento y además cuentan con la presencia de rocas sedimentarias de la Formación Pepino y el Grupo Orito las cuales son menos resistentes que las rocas

Migmatitas de Florencia. Con respecto a la clasificación que se utiliza, se quiere indicar que hacia la parte central se van a desarrollar algunos desplazamientos pero habrá mayor factibilidad hacia los otros sectores ya que ahí reposan rocas de menor resistencia lo cual favorecen a su generación.

8.1.2 Inclinación de la ladera

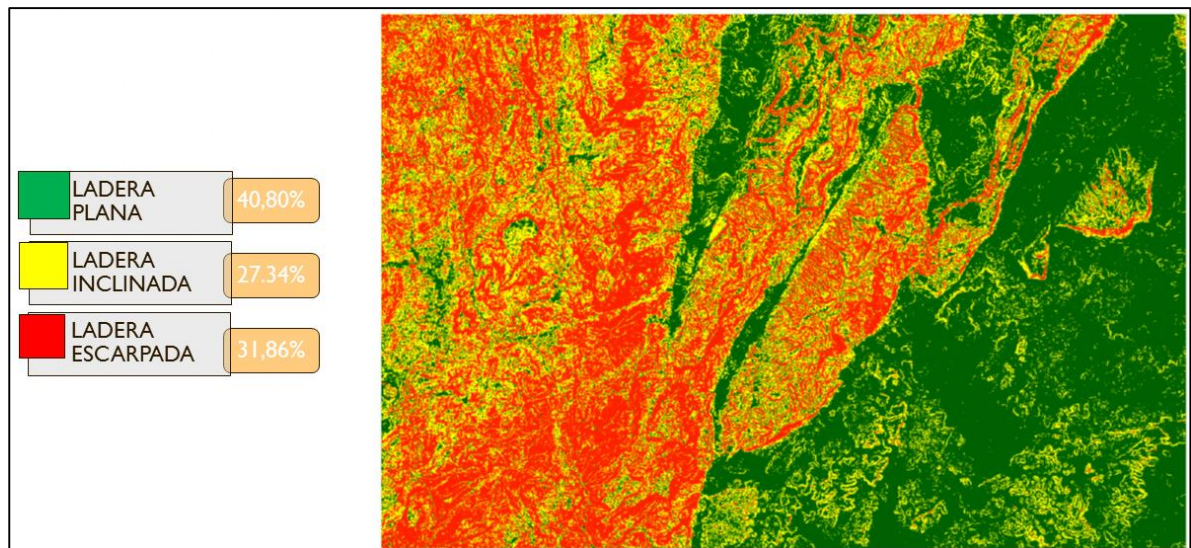
Para lograr la calificación de la Inclinación de la Ladera (IL) en la Plancha 368, se debe tener en cuenta la Tabla 3. La cual se utilizó para realizar la correspondiente clasificación del terreno, en donde se hizo la comparación de los grados de la pendiente versus el tipo de material afectado.

Esta tabla cuenta con 3 rangos de calificación, en donde a cada uno de ellos se le asigna un valor correspondiente. El primer rango corresponde al valor 1, es un pendiente suave o plana donde el ángulo de inclinación no supera los 10° grados, dentro de este rango se sitúan materiales muy blandos a blandos, y debido a este poco ángulo de la ladera, el desarrollo de los movimientos en masa será muy bajo a nulo. Al segundo rango le pertenece el valor 2, está dado para las rocas blandas o de poca resistencia que poseen un ángulo de inclinación que está en el intervalo de los 10° a 20°, estas son laderas inclinadas a muy inclinadas, donde hay una buena posibilidad de encontrar o desarrollarse movimientos en masa. A continuación el último rango, el valor 3, en el cual se forman laderas con pendiente abrupta, muy abrupta hasta llegar a escarpadas dependiendo del ángulo de inclinación de la ladera, de 20° a 30°, de 30° a 45° o si supera los 45° para cada tipo de ladera nombrada anteriormente, los cuales se localizan en terrenos donde las rocas presentan características de mucha dureza y gran compactación pero con una alta susceptibilidad de generar movimientos en masa. .

En la siguiente imagen se observa la Inclinación de la ladera (IL) generada dentro de la herramienta ArcGis, la cual está representada por tres diferentes gamas de

colores (Figura 14). El color verde es el valor 1, el cual está cubriendo casi el 40,80 % de la totalidad de la plancha, se halla dispuesta principalmente hacia la parte oriental, aunque también se encuentran en dos delgadas pero extensas franjas hacia el centro de la plancha. Todos estos terrenos por donde se desplaza el color verde se componen en mayor proporción de depósitos cuaternarios, seguido de rocas del Grupo Orito y menor cantidad la unidad Formación Pepino. Son terrenos amplios, planos o con ondulaciones poco notables, este hecho ocurre gracias a tener un bajo ángulo de pendiente, en consideración a lo anterior es muy difícil encontrar movimientos en masa dentro de áreas con calificación 1.

Figura 14. Representación gráfica del procesamiento de la inclinación de la ladera.



Fuente: Autor.

El valor 2 identificado con el color amarillo se encuentra en todos los segmentos de la plancha, el cual está tiñendo casi el 27,34 % de la totalidad del terreno, además cubre a todas las unidades geológicas (Migmatitas de Florencia, Formación Pepino, Grupo Orito, Terrazas y Depósitos Aluviales) que se encuentran ubicadas dentro del área de investigación, cada una de estas unidades manifiesta diferente dureza y resistencia. Los ángulos de inclinación que ostentan estos terrenos van de los 10° a 20° desarrollando laderas muy inclinadas a

abruptas en las cuales la posibilidad de descubrir movimientos en masa es considerable.

El color rojo que representa el valor 3 se encuentra localizado en tres cuartas partes de la plancha donde el sector occidental es la zona principal, en el centro de la plancha se observa una cantidad considerable y hacia el oriente una pequeña sección, acoplando todas estas partes se logra visualizar que el color rojo está tiñendo casi un 31,86 % de la totalidad del área de estudio. Se presenta en terrenos que se componen especialmente de la unidad Migmatitas de Florencia las cuales son muy resistentes ya que son rocas metamórficas, y también se presenta en menor proporción sobre las rocas sedimentarias de la Formación Pepino las cuales tiene una resistencia baja a soportar los procesos de erosión.

En los terrenos donde se extiende el valor 3 se desarrollan laderas de pendientes muy abruptas, escarpadas a muy escarpadas dependiendo del ángulo de inclinación. Estas zonas son las primeras en ser analizadas porque la inclinación de la ladera es una característica fundamental ya que ayuda al desarrollo de los movimientos en masa.

8.1.3 Modelo relaincli

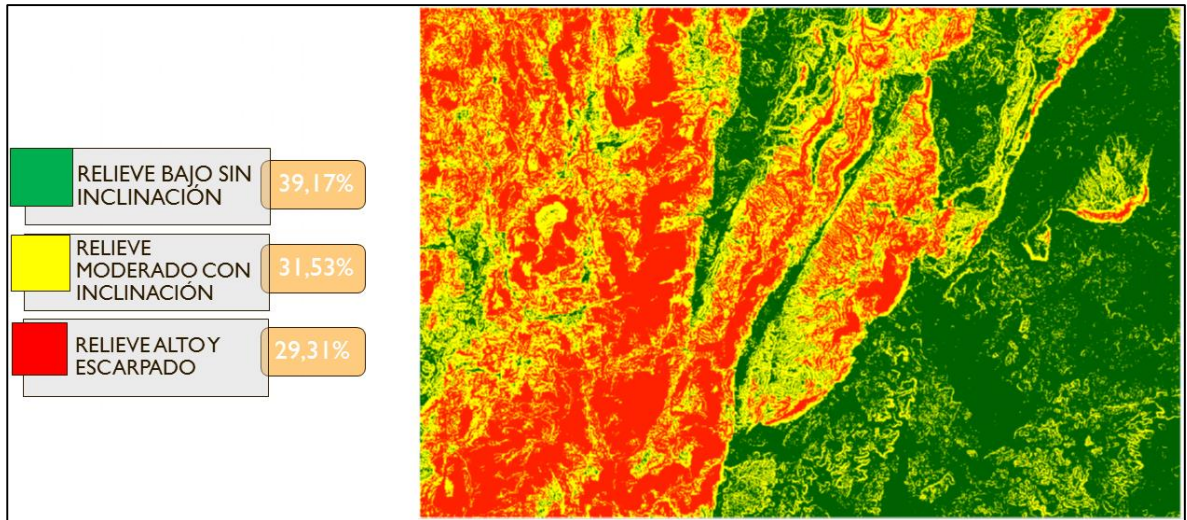
Para obtener el Modelo Relaincli de la Plancha 368, primero se tuvo que obtener los dos elementos fisiográficos anteriores (Relieve Relativo y la Inclinación de la ladera), para luego combinarlos y generar un nuevo mapa. Este nuevo mapa es la variable Relaincli, la cual fue generada a través de un procesamiento matemático dentro de la herramienta ArcGis.

La Figura 15 ilustra el procesamiento de la variable Relaincli, y se observan 3 gamas de colores con los cuales se realiza su calificación, en donde:

En el sector suroriente de la plancha se identifica el color verde en mayor cantidad en comparación con el color amarillo, estos colores están cubriendo un área donde sus principales unidades geológicas son los depósitos aluviales y de terrazas, y en una pequeña proporción las rocas del Grupo Orito, la característica fundamental es que son materiales con poca compactación y muy baja resistencia, las cuales se encuentran localizadas en grandes extensiones donde el terreno es plano (color verde) a ondulado (color amarillo) con cotas que no superan los 200 m de altura, los colores amarillos aparecen debido a que hay un cambio en la inclinación del terreno. Teniendo en cuenta esta información, la posibilidad de encontrar movimientos en masa son bajas pero no nulas, debido a que son materiales con muy poca resistencia fáciles de erosionar y además hay un cierto ángulo de inclinación por el cual se pueden desplazar los materiales.

Hacia el segmento nororiental se observa el mismo caso, una baja posibilidad de encontrar movimientos en masa, esto se ocasiona porque los materiales si pueden ser susceptibles a procesos de erosión pero se encuentran en una zona de bajas elevaciones y con un ángulo bajo de inclinación de la ladera. Sin embargo, hay un polígono que llama la atención, ya que se observa claramente los 3 tipos de colores, esto se debe principalmente al ángulo de inclinación de la ladera más que a la elevación del terreno. El área de este polígono está compuesto por las rocas sedimentarias de la Formación Pepino que se encuentran ubicadas hacia la parte superior y por las rocas Migmatitas de Florencia en la parte inferior de la geoforma. La tendencia a desarrollar movimientos en masa en este segmento es favorable ya que se encuentra a alturas considerables con un buen ángulo de inclinación y además en la parte superior se encuentran rocas que son susceptible a romperse y sufrir desplazamientos.

Figura 15. Representación gráfica del procesamiento de la variable Relaincli.



Fuente: Autor.

Para la parte central de la plancha 368, se distribuyen los 3 colores, el color verde y amarillo debido a las diferentes alturas que posee el terreno; el color rojo se presenta en una pequeña proporción por la altura, su principal aparición se debe a la inclinación de la ladera que presenta esta área, ya que se descubren pendientes con ángulos superiores a los 20° en diferentes partes de este sector. Esta zona cuenta con un alto potencial a encontrarse movimientos en masa ya que en su interior se ubican las unidades geológicas del Grupo Orito y de la Formación Pepino sobre la unidad Migmatitas de Florencia, los cuales son más susceptibles a ser erosionados por ser materiales menos resistentes en comparación con las rocas metamórficas, cuenta con un relieve escarpado que enseña pendientes altas que benefician y contribuyen a la formación de movimientos en masa.

Debe ser el área donde más se encuentren movimientos en masa, dado que las características de esta zona son favorables para su presencia, cuenta con alturas convenientes para su generación, un ángulo de inclinación considerables para su desplazamiento y la presencia de rocas con poca rigidez.

El sector occidental de la Plancha 368, está caracterizado principalmente por el color rojo, el cual se favorece porque presenta las alturas más imponentes de toda la plancha y los más altos grados de inclinación de la ladera, donde la unidad geológica Migmatitas de Florencia son las rocas que constituyen casi el 100 % de esta parte de la plancha, esta rocas metamórficas se distingue por su alta resistencia a los cambios de forma y volumen, esta característica ayuda a la estabilidad del terreno pero disminuye la probabilidad de desarrollar los movimientos en masa, pero no significa que anula la posibilidad de encontrarlos.

Se puede pensar que en este sector no hay posibilidades de encontrar movimientos en masa por la dureza de las rocas metamórficas que ocupan esta área, pero no es así, la parte occidental de la plancha 368, tiene un alto potencial de encontrar o darse movimientos descendentes porque las características que presenta el terreno son convenientes e incrementan su porcentaje de hallazgo.

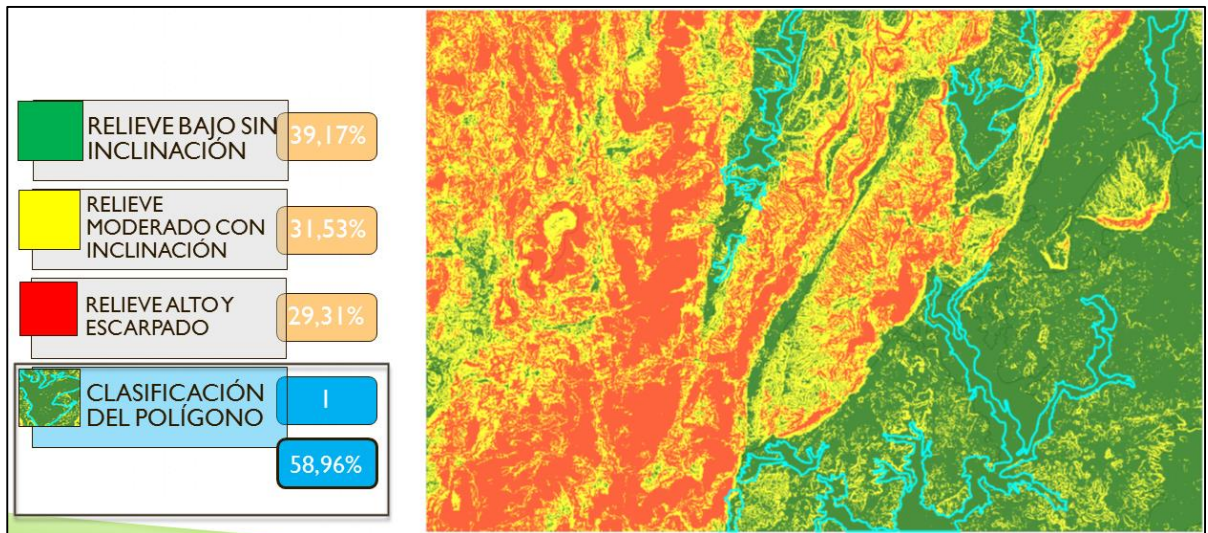
8.2 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

En la Plancha 368, San Vicente del Caguán se hallan localizados exclusivamente los Depósitos Aluviales y Terrazas, los cuales aparecen ilustrados e identificados en el mapa geológico (ver ANEXO B). Con el color gris oscuro se reconoce a las Terrazas las cuales son más antiguas con respecto a los Depósitos Aluviales que están representados con el color gris claro. Se encuentran distribuidos únicamente en la parte central y oriental de la plancha.

En la figura 16 se observa los polígonos de color azul los cuales están delimitando los Depósitos Aluviales, los cuales son el 58,96 % de la totalidad de los depósitos cuaternarios que se encuentran ubicados dentro de la plancha 368. Según la tabla 4, son depósitos de ambiente fluvial y lagunar y tiene una clasificación de valor 1, lo que indica que son sectores donde es poco probable el desarrollo de movimientos en masa. Se encuentran relacionados principalmente a geoformas de

tipo cause activo y planicies de inundación, también se observan meandros abandonados hacia la parte suroriental de la plancha y además la presencia de barras dentro de los ríos que drenan el área de estudio.

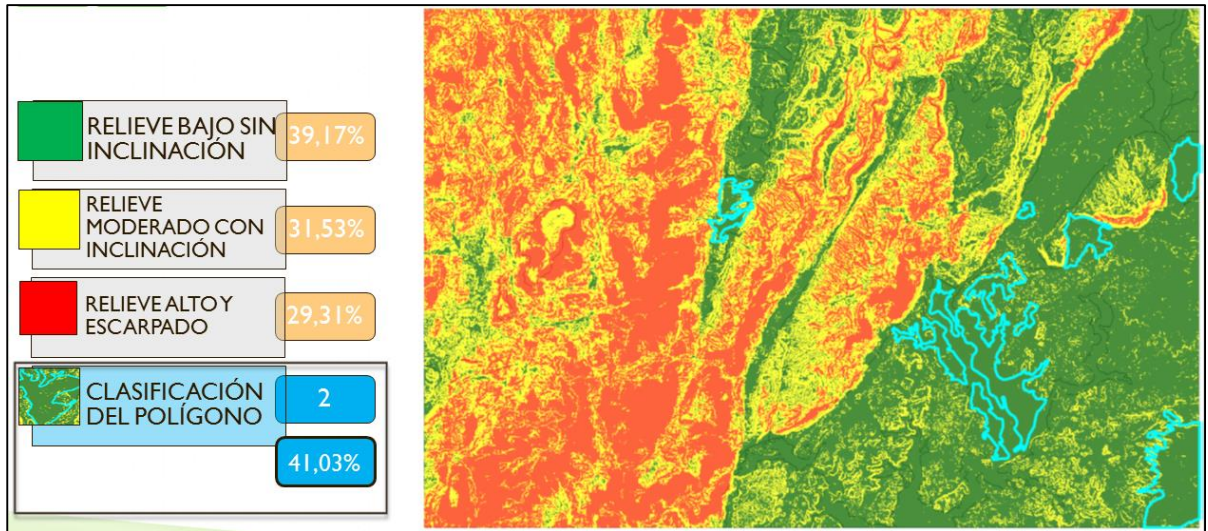
Figura 16. Representación gráfica de los depósitos aluviales.



Fuente: Autor.

Las Terrazas también están asociadas a un ambiente fluvial y lagunar clasificándolas con base en la tabla 4. De acuerdo al procesamiento realizado la calificación arroja como resultado el valor 2, son zonas que en comparación con los depósitos aluviales van a ser más susceptibles a procesos erosivos, lo que indica una mayor posibilidad de generarse movimientos en masa. Sin embargo, aún siguen siendo sectores con bajo susceptibilidad a presentarse los desplazamientos. En la figura 17 se muestra la distribución espacial de las Terrazas, distinguiéndose polígonos de color azul, los cuales, están cubriendo el 41,03 % de la totalidad de los depósitos cartografiados en esta plancha. Las geoformas relacionadas son escarpes de terrazas como se observa hacia la parte oriental y terrazas de acumulación y erosión.

Figura 17. Representación gráfica de las terrazas.



Fuente: Autor.

8.3 MOVIMIENTOS EN MASA

Con el trabajo realizado en campo se logró obtener un registro de los movimientos en masa presentes en la Plancha 368, con los cuales se efectuó el inventario correspondiente, esta tabla de movimientos será entregada al Servicio Geológico Colombiano (SGC), para que sean añadidos a la base de plataforma zafiro del SIMMA Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA).

En el área de estudios se registraron 27 movimientos en masa como se muestra en la Tabla 6 y en el ANEXO C se observa la localización de cada uno de los puntos. Se observa un predominio de los deslizamientos traslacionales y de la reptación; en menor densidad se presentan los flujos los cuales principalmente remueven material detrítico. Siendo la zona central donde se muestra una alta concentración de , sobre las carreteras que comunican a el municipio de San Vicente del Caguán con la ciudad de Neiva, el corregimiento de Guacamayas, corregimiento de Gibraltar y corregimiento Campo Hermoso, principalmente.

A continuación se hace una descripción más detallada de la zona con más desarrollo de movimientos, interpretando de igual manera la magnitud de la amenaza.

8.3.1 Descripción por sectores

- Sector Centro-Sur

Este sector está definido desde la salida del municipio de San Vicente del Caguán hasta la vereda La Granada (vía Neiva (Huila)). Se registró un total de 17 movimientos de diferentes tipos, predominando deslizamientos traslacionales (ver Figura 16) desplazándose material detrítico, flujos de tierra (ver Figura 17), y reptación de suelos (ver Figura 18), complejos, activos y avanzados. El material que involucra los movimientos es principalmente suelo residual producto de la meteorización física de las unidades litológicas (causa inherente), Migmatitas de Florencia, Grupo Orito, Formación Pepino, y material no consolidado de Depósitos Aluviales. Lo anterior evidencia alta inestabilidad del terreno en este sector, siendo las causa detonante principal alta intensidad de lluvias en época invernal y la erosión pluvial la causa contribuyente.

Figura 18. Deslizamiento traslacional ubicado en la salida del municipio de San Vicente del Caguán (Caquetá) hacia el municipio de Puerto Rico (Caquetá). Se muestra materia de Depósito aluvial desplazado sobre él mismo.



Fuente: Autor.

Figura 19. Se muestran dos movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional (parte superior) y flujo de detritos (parte inferior), activos, compuestos y avanzados.



Fuente: Autor.

Figura 20. Se observa el tipo de movimiento, reptación de suelos, mostrando su característica principal la inclinación de los árboles (parte derecha) y erosión de tipo terracetas.



Fuente: Autor

- Sector Centro-Norte

El sector Centro-Norte marca su límite inferior en la vereda Versailles y el límite superior en el corregimiento Gibraltar. Se registró un total de 8 movimientos en masa, diferenciando principalmente reptación de suelo, activo y avanzado, seguido de deslizamientos traslacionales. El material que se encuentra desplazándose es suelo residual producto de la intensa meteorización física de las Migmatitas de Florencia y Grupo Orito, predominantemente; sin embargo debido al movimiento que prevalece no es un sector de alta susceptibilidad a movimientos en masa, puesto que, la reptación es un movimiento lento y que no involucra gran cantidad de material cuando se genera. La principal causa detonante ha sido la intensificación de lluvias por época invernal

Figura 21. Se observa el tipo de movimiento, reptación de suelos, mostrando su característica principal la inclinación de los árboles y erosión de tipo terracetas.



Fuente: Autor.

Figura 22 Deslizamiento traslacional sobre la carretera hacia la vereda la Urraca. Se observa que el material removido es tierra y en menor proporción detritos; además de ser suelo transportado es suelo residual del Grupo Orito.



Fuente: Autor.

Tabla 6: Características de los movimientos registrados en la zona de estudio.

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			TIPO DE MOVIMIENTO	TIPO DE UNIDAD GEOLÓGICA
	#	x	y		
1	922526	725726	272	Deslizamiento	Deposito Aluvial
2	912513	730133	332	Deslizamiento	Formación Pepino
3	911985	729987	421	Deslizamiento	Migmatitas de Florencia
4	911105	730457	403	Deslizamiento	Migmatitas de Florencia
5	910883	731281	457	Deslizamiento	Migmatitas de Florencia
6	909418	731539	477	Flujo	Migmatitas de Florencia
7	914865	721325	295	Deslizamiento	Grupo Orito
8	919103	740042	320	Reptación	Formación Pepino
9	920273	741996	392	Reptación	Migmatitas de Florencia
10	919800	742920	446	Reptación	Migmatitas de Florencia
11	915736	744326	504	Deslizamiento	Migmatitas de Florencia
12	917406	744084	445	Deslizamiento	Migmatitas de Florencia
13	914342	743774	456	Deslizamiento	Migmatitas de Florencia
14	920102	745342	493	Deslizamiento	Migmatitas de Florencia
15	921053	746098	418	Deslizamiento	Grupo Orito
16	912583	722712	296	Reptación	Grupo Orito
17	912103	724016	283	Reptación	Deposito Aluvial

18	924643	722880	289	Reptación	Grupo Orito
19	925584	721487	287	Reptación	Grupo Orito
20	904894	728320	451	Flujo	Formación Pepino
21	903338	732771	648	Deslizamiento	Migmatitas de Florencia
22	902460	733173	810	Deslizamiento	Migmatitas de Florencia
23	901985	733110	788	Deslizamiento	Migmatitas de Florencia
24	901285	734042	768	Reptación	Migmatitas de Florencia
25	901809	738221	687	Deslizamiento	Grupo Orito
26	905257	752252	480	Reptación	Grupo Orito
27	903335	745881	545	Reptación	Terrazas

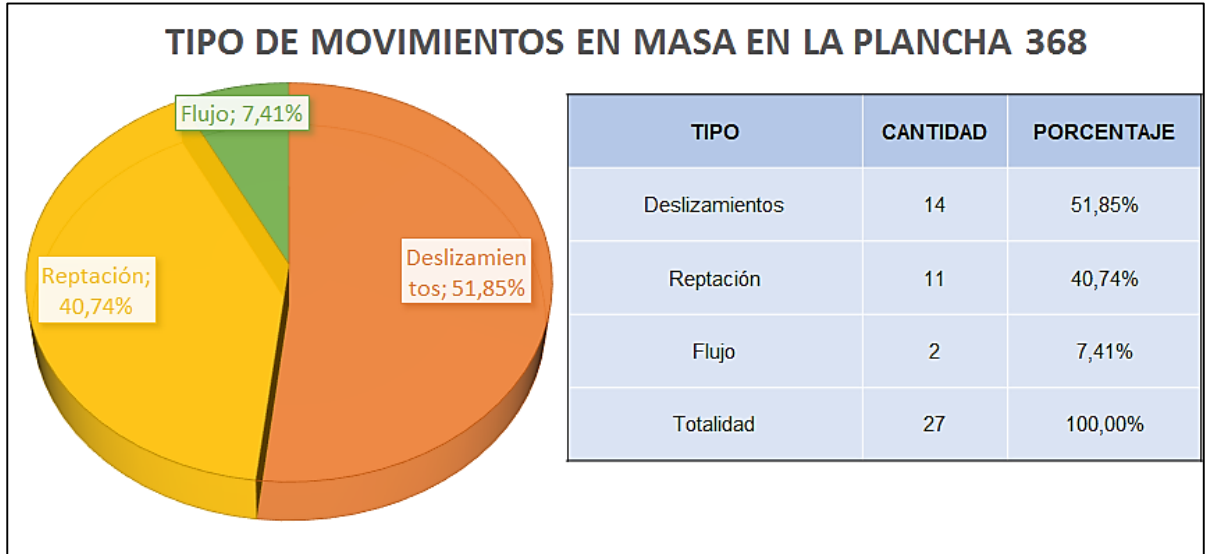
Fuente: Autor.

8.3.2. Indicadores estadísticos

8.3.2.1 Clasificación del movimiento.

Los movimientos en masa se concentraron en la parte central de la Plancha 368 San Vicente del Caguán, sobre el flanco Oriental de la Cordillera Oriental, siendo la zona de transición de pendiente entre la Llanura Amazónica y las estribaciones de la Cordillera Oriental, correspondiendo un área topográficamente baja con alturas desde 300 msnm hasta 1500 msnm. Lo anterior reafirma el predominio de deslizamientos con un 51, 85 % equivalente a 14 registros de este tipo de movimiento (ver Figura 21), puesto que no es necesario de laderas con pendientes muy inclinadas para su desarrollo, seguido de reptación con 40,74% equivalente a 11 registros de este tipo de movimiento, el cual es un movimientos lento donde su material se desplaza en un intervalo de tiempo largo y no en gran cantidad.

Figura 23. Distribución de densidad de movimientos en masa, de acuerdo a su tipo o mecanismo.

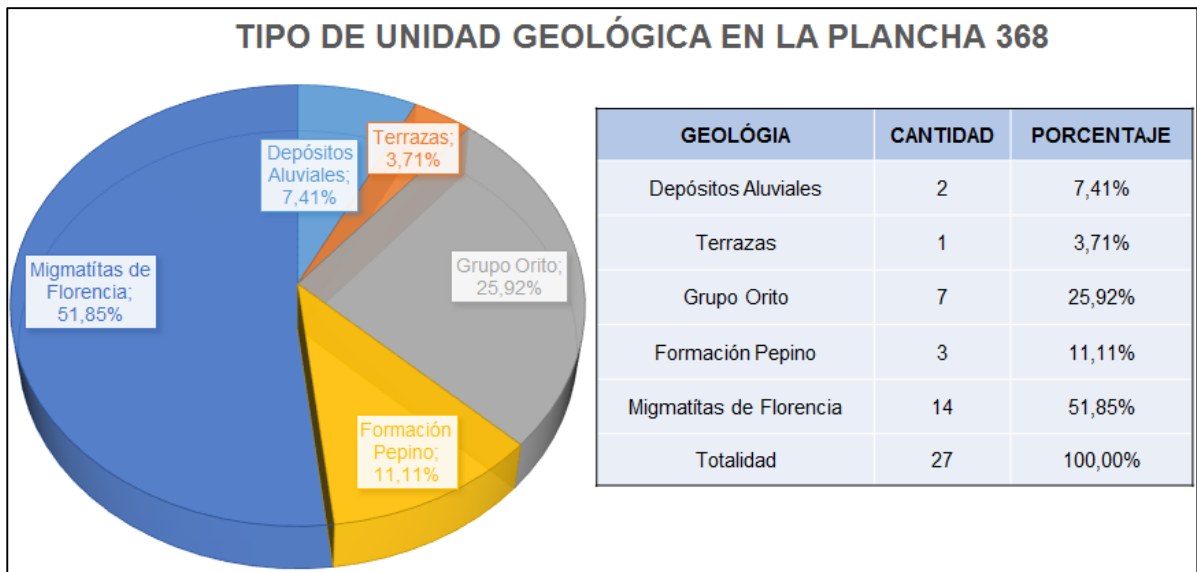


Fuente: Autor

8.3.2.2 Unidad geológica

El flanco Oriental de la Cordillera Oriental está siendo modelada por una variedad de unidades litológicas del precámbrico, paleógeno, neógeno y cuaternario en la, correspondiendo a las Migmatitas de Florencia, Formación Pepino, Grupo Orito, Depósitos de terraza y aluviales, respectivamente. El material que ha sido desplazado en el desarrollo de los movimientos es suelo residual, producto de la intensa meteorización que ha afectado a dichas unidades. La unidad que los movimientos ha afectado más su material es Migmatitas de Florencia con un 51,85% (ver Figura 22).

Figura 24. Distribución de la densidad de movimientos en masa, de acuerdo a su unidad litológica.



Fuente: Autor

9 CONCLUSIONES

En el segmento oriental de la Plancha 368-San Vicente del Caguán a pesar de presentar atributos morfométricos (alturas bajas y pendientes suaves) desfavorables para el desarrollo de movimientos en masa; pero gracias al reconocimiento en campo se pudo identificar algunos deslizamientos en esta zona, debido a que afloran rocas sedimentarias y depósitos cuaternario que son poco competentes.

El sector central de la zona de estudio, está modelado por rocas sedimentarias del Grupo Orito, la Formación Pepino, y depósitos cuaternarios, siendo bien susceptibles a procesos erosivos, es donde se presenta la mayor concentración de movimientos en masa. Aunque las características del relieve como su altura y la inclinación de la ladera no son las más sobresalientes del área estudio, si son apropiadas para el desarrollo de los mismos y aumentan la probabilidad de producir nuevos deslizamientos.

La parte occidental de la plancha tiene una alta probabilidad de presentar movimientos en masa, ya que el terreno presenta alturas de más de 2000 msnm, que favorecen su generación y las laderas enseñan ángulos mayores a 45° que benefician al desplazamiento del material. Un factor atenuante en este segmento son las rocas metamórficas que lo componen, puesto que son materiales duros y resistentes, más que las sedimentarias y los depósitos, aunque presentan desarrollo de suelo residual producto de la meteorización física.

De acuerdo a lo anterior los sectores, central y occidental de la zona de estudio, son los que presentan mayor densidad de movimientos en masa y son más

susceptibles a estos. Los materiales que los constituyen y las pendientes altamente inclinadas es lo que más ha favorecido al desarrollo de ellos.

La Plancha 368-San Vicente del Caguán registra un total de 27 movimientos en masa predominando los subtipos: deslizamiento traslacional y reptación de suelos, y en menor cantidad flujos de detritos, sobre las carreteras que conducen del municipio de San Vicente del Caguán (Caquetá) hacia Neiva (Huila), el corregimiento de Gibraltar, Guacamayas y Campo Hermoso, (Caquetá). El material que desplaza es principalmente suelo residual producto de la meteorización de las Migmatitas de Florencia, y del Grupo Orito. El material meteorizado es la principal causa inherente, los detonantes son las lluvias y en menor medida los sismos, debido a las olas invernales que sufrió el país.

Aplicando los elementos fisiográficos de clasificación al área de estudio se obtiene una zonificación preliminar de la susceptibilidad a movimientos en masa, en la cual se obtienen dos sectores claramente diferenciados, que son: el occidente y centro de la plancha corresponde a zonas muy susceptibles a movimientos y el sector oriental una zona con gran estabilidad. Sin embargo con los datos obtenidos en campo se evidencio la presencia de múltiples movimientos (en su mayoría no cartografiables a la escala de estudio) en la zona oriental, lo cual refuta la clasificación anterior y refleja la necesidad de integrar movimientos de menor escala al estudio de susceptibilidad de una zona.

Los resultados reflejan la gran importancia del trabajo de campo ya que los métodos de clasificación preliminar son insuficientes Ya que en la zona oriental es relativamente plana y se presume una baja probabilidad a desarrollar deslizamientos, pero en realidad presenta un porcentaje considerable de movimientos en masa, lo cual indica que la altura no es un impedimento para la generación de estos eventos. También hay otra particularidad, y es que la alta resistencia del material no es un impedimento para efectuarse movimientos en

masa, esto se comprobó por medio de la estadística realizada al itinerario de movimientos en masa encontrados en campo, donde más del 50 % de los movimientos se generaron sobre rocas metamórficas

BIBLIOGRAFÍA

HIGHLAND, L.M., Y BOBROWSKY, PETER. 2008. Manual de derrumbes. Guía para entender todo sobre los derrumbes. Circular 1325 del Servicio Geológico de los EE.UU, 129 p. Reston, Virginia.

IGAC. 2005. Plancha 368 San Vicente del Caguán escala 1:100.000. Subdirección de geografía y cartografía. Instituto geográfico Agustín Codazzi. Bogotá.

LEYVA, O., MOYA, H., TREJOS. G. 2012. Documento metodológico para la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimiento en masa. Escala 1:100.000, Versión 1. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C.

LEYVA, O., MOYA, H., TREJOS. G. 2013. Documento metodológico para la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimiento en masa, escala 1:100.000, Versión 2. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C.

PMA-GEMMA: Proyecto Multinacional Andino - Geociencias para las Comunidades Andina. Grupo de Estándares para Movimientos en Masa. 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, 1 p. Canadá.

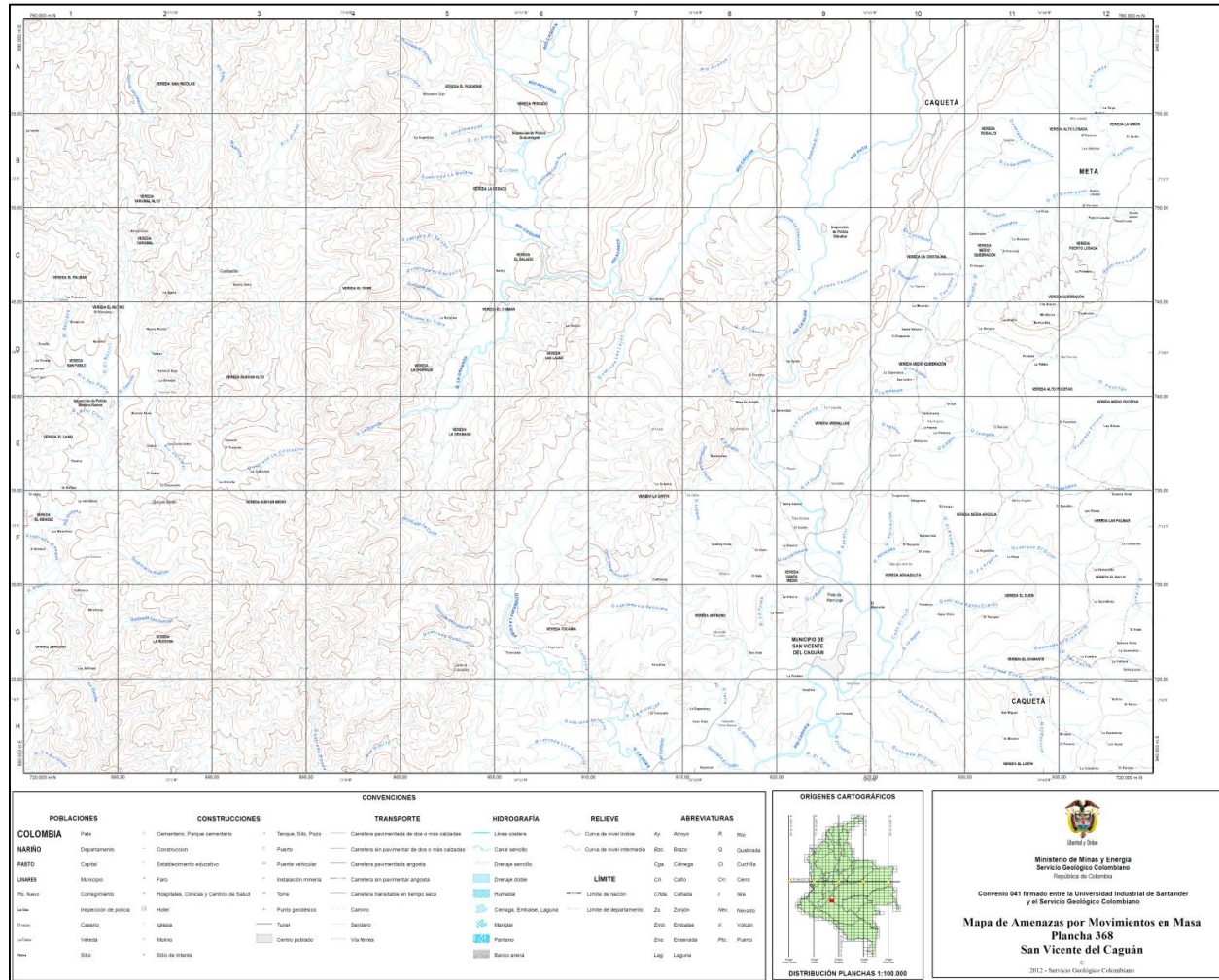
RODRIGUEZ, G., ZAPATA, G., VELAZQUEZ, M. 2003. Geología de la Plancha 368 San Vicente del Caguán. Escala 1:100.000. Ingeominas. Bogotá.

RODRIGUEZ, G., ZAPATA, G., VELAZQUEZ, M., COSSIO, U., LONDOÑO, A. 2003. Memoria explicativa geología de las Planchas 367 Gigante, 368 San Vicente

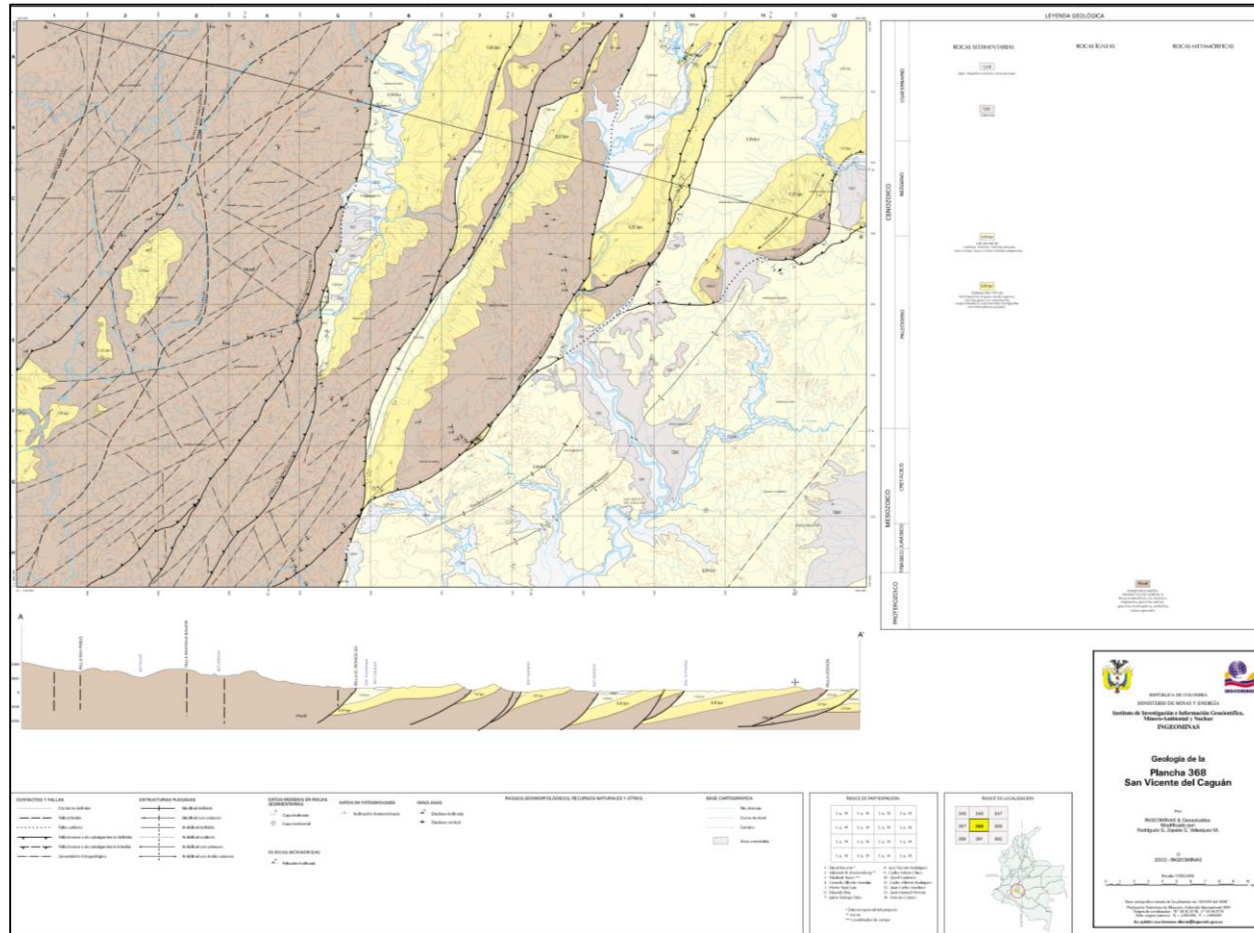
del Caguán, 389 Timaná, 390 Puerto Rico, 391 Lusitania (parte noroccidental) y 414 El Doncello. Escala 1:100.000. Ingeominas. Medellín.

ANEXOS

ANEXO A. Base cartográfica de la Plancha 368, San Vicente del Caguán, Escala 1:100.000.



ANEXO B. Mapa geológico de la Plancha 368, San Vicente del Caguán, Escala 1:100.000.



ANEXO C. Mapa morfodinámico de la Plancha 368, San Vicente del Caguán, Escala 1:100.00.

