

**MOVIMIENTOS EN MASA ASOCIADOS A LAS UNIDADES GEOLOGICAS DE  
LA PLANCHA 87-SARDINATA, SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO  
REGIONAL BUCARAMANGA**

**VALENTINA BETANCOURT SUAREZ**

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

**2014**

**MOVIMIENTOS EN MASA ASOCIADOS A LAS UNIDADES GEOLOGICAS DE  
LA PLANCHA 87-SARDINATA, SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO  
REGIONAL BUCARAMANGA**

**VALENTINA BETANCOURT SUAREZ**

**Proyecto de Grado modalidad práctica empresarial para optar al título de  
GEÓLOGO**

**Director  
DIEGO GERARDO IBAÑEZ ALMEIDA**

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

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Julio Cesar Betancourt, María Suárez, Lucía Estupiñan y a mi tutor Diego Gerardo Ibáñez Almeida, por su apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros: Alberto Ochoa, Nelson López, Mayra Vargas, Andrea Matajira, Paola Gómez, Andrés Martínez, Edgar G. García, Karina Portilla, Ana Milena Cardozo y Eduardo Castro.

A la Universidad Industrial de Santander, la escuela de geología, docentes y demás administrativos, a Sonia Sánchez, a mis calificadores Hernando García y Álvaro Solarte.

Y a los que se me escapan y que en algún momento me enseñaron a perseverar a pesar de las circunstancias.

GRACIAS

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	20
1. OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2. JUSTIFICACION	23
3. LOCALIZACION	24
4. ANTECEDENTES	26
4.1 DEL RIO ALEJANDRO	26
4.2 MENDOZA JESÚS HERNANDO	26
4.3 CASTRO MARÍN EDUARDO	27
4.4 LEYVA OMAR, CARRILLO EDGAR	28
5. MARCO TEORICO	29
5.1 INSTRUCTIVO PARA EL DILIGENCIAMIENTO DEL FORMATO DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA	29
5.1.1 Encabezado	29
5.1.2 Nombre del encuestador	29
5.1.3 Fecha	29
5.1.4 Institución	29
5.1.5 Código del evento	30
5.1.6 Localización geográfica y documental del evento	30
5.1.6.1 División política	30
5.1.6.2 Coordenadas	30
5.1.6.3 Referentes geográficos	30
5.1.6.4 Documentación	31
5.1.7 Actividad del movimiento	31
5.1.7.1 Fechas de ocurrencia	31
5.1.8 Litología y estratigrafía	31

5.1.8.1 Descripción	31
5.1.8.2 Estructura, Orientación y Espaciamiento	32
5.1.9 Clasificación del movimiento	32
5.1.9.1 Tipo de movimiento	32
5.1.9.2 Material	33
5.1.9.3 Velocidad	35
5.1.9.4 Clasificación del movimiento	35
5.1.10 Morfometría	35
5.1.10.1 General	35
5.1.10.2 Dimensiones	35
5.1.10.3 Deformación del terreno	37
5.1.10.4 Geoforma	37
5.1.11 Causas del Movimiento	37
5.1.12 Cobertura y uso del suelo	38
5.1.13 Documentos de referencia	38
5.1.14 Efectos Secundarios	38
5.1.15 Importancia del evento	41
5.1.16 Daños	41
5.1.16.1 Población	41
5.1.16.2 Infraestructura	41
5.1.16.3 Actividades económicas	42
5.1.16.4 Daños ambientales	42
5.1.17 Notas y apreciación del riesgo	42
5.1.18 Esquema	43
5.1.19 Registro fotográfico	43
5.2 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA	43
5.2.1 Caída (fall)	44
5.2.2 Volcamiento (Toppling)	45
5.2.3 Deslizamiento	46
5.2.3.1 Deslizamiento Traslacional	47

5.2.3.2 Deslizamiento Rotacional	48
5.2.4 Propagación Lateral	48
5.2.4.1 Propagación Lateral en Bloque	48
5.2.4.2 Propagación lateral por Licuación	49
5.2.5 Flujo	49
5.2.6 Reptación	50
5.3 GEOLOGIA	51
5.3.1 Geología regional	51
5.3.1.1 Evolución geológica de Norte de Santander	51
5.3.2 Geología local	59
5.3.2.1 Formaciones del Basamento (gn, esq, gr)	60
5.3.2.2 Neis de Bucaramanga (Peb)	61
5.3.2.3 Ortogneis (Peo)	61
5.3.2.4 Formación Silgará (pDs)	61
5.3.2.5 Formación Girón (jrg)	61
5.3.2.6 Formación Aguardiente	62
5.3.2.7 Formación Capacho (kmc)	62
5.3.2.8 Formación la Luna (ksl)	62
5.3.2.9 Formación Colon (ksc)	62
5.3.2.10 Formación Mito Juan (ksm)	63
5.3.2.11 Formación Catatumbo (ksct)	63
5.3.2.12 Formación Barco (tpb)	63
5.3.2.13 Formación los Cuervos (tpc)	64
5.3.2.14 Formación Mirador (tem)	64
5.3.2.15 Formación Carbonera (tec)	64
5.3.2.16 Formación León (tol)	65
5.3.2.17 Formación Guayabo (tmg)	65
5.3.2.18 Depósitos Pleistocenos y recientes (qt,qal)	65
6. METODOLOGÍA	67
6.1 RECOPIACION Y CONSULTA DE INFORMACION	67

6.2 INTERPRETACION DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES DE SATELITE	68
6.3 RECOLECCION DE INVENTARIOS DE MOVIMIENTOS EN MASA	68
6.4 ANALISIS DE INFORMACION	69
6.5 MAPAS INTERACTIVOS	69
7. RESULTADOS	70
7.1 RASGOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS GENERALES	70
7.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS PROCESOS	72
7.2.1 Estilo de movimiento	72
7.2.2 Relación entre los procesos inventariados y las unidades afectadas	77
7.2.3 Contraste de elementos posibles a afectar si acontece un nuevo movimiento en masa	81
7.2.4 Relación entre los procesos inventariados y el uso del suelo	81
7.2.5 Relación entre los procesos inventariados y los agentes detonantes	83
7.2.6 Distribución de densidad de movimientos en masa inventariados según el estado de erosión	85
7.2.7 Relación entre los procesos inventariados y la pendiente del terreno	86
7.2.8 Movimientos en masa según su importancia	88
7.2.9 Movimientos asociados a lineamientos y fallas	91
8. ANALISIS DE SECTORES MÁS AFECTADOS	94
8.1 CARMEN DE NAZARETH	94
8.2 SECTOR EL OSO	95
8.3 MUNICIPIO DE GRAMALOTE Y SUS ALREDEDORES	97
8.4 MUNICIPIO DE BUCARASICA	100
8.5 MUNICIPIO DE LOURDES	101
8.6 SECTOR DEL IDEMA	103
8.7 MUNICIPIO DE SANTIAGO	104
8.8 QUEBRADA SAN JOSÉ	105
8.9 SECTORES MAS AFECTADOS POR MUNICIPIO	107
8.9.1 Lourdes	107

8.9.2 Villa Caro	108
8.9.3 Bucarasica	109
8.9.4 Gramalote	109
9. CONCLUSIONES	111
10. RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	115

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Localización geográfica de la planchas 87 –Sardinata. Modificado del IGAC, 2005 y tomado de Google Earth , 2013	24
Figura 2. Dimensiones de un deslizamiento	36
Figura 3. Tipo de represamiento según Costa y Schuster (1988)	39
Figura 4.a) Dibujo: caída de detritos tomado de Enrique Gil Bazán (2012), b) Costa Patagónica, Comodoro Rivadavia, Argentina	45
Figura 5. a) Dibujo: Volcamiento de roca, b) Vuelco flexural carretera Bogotá – Villavicencio, Colombia	46
Figura 6. Tipo de deslizamiento según material	46
Figura 7. Noviembre del 2007, p 9 y 11. a) Fotografía de deslizamiento en cuña. Cerro Partido, Lima, Perú; b) Deslizamiento planar según los planos de estratificación de capas de areniscas y lutitas, Estado Falcón, Venezuela	47
Figura 8. Deslizamiento Rotacional, Cerro Mizhquiyacu, Ecuador, 1993	48
Figura 9. Casos de propagación lateral; a) y b) Propagación lateral en bloques, c) Propagación lateral en tierra	49
Figura 10. Flujo de lodo, Cerro Yantajirca, Yanahuanca, Pasco, Perú (Fotografía L. Fídel)	50
Figura 11. Reptación de suelos. a) Esquema, b) Ladera en reptación, esquistos cloríticos meteorizados (Grupo Cajamarca) entre la carretera Ibagué – Armenia (esquina superior izquierda) y la quebrada Perales (esquina inferior derecha), Sector Cajamarca-La Línea, Tolima, Colombia	50
Figura 12. Mapa de los principales Terrenos de Colombia según Toussaint y Restrepo (1986 y 1989). An: Terreno Andaquí, Ch: Terreno Chibcha, Ta: Terreno Tahamí,, Ca: Terreno Calima, G: Terreno Gorgona, Cu: Terreno Cuna, PC: Sutura precámbrica, Pzs: Frontera paleozoica tardía, Ki: Sutura cretácica temprana, Ks: Frontera cretácica temprana, M:Sutura miocena	52

Figura 13. Cronología de las acreciones sucesivas sobre la base de un corte elaborado en los alrededores de 6°N. (según Toussaint y Restrepo, 1989). An. Terreno Andaquí, Ch. Terreno Chibcha, Ta. Terreno Tahamí, Ca. Terreno Calima, Cu. Terreno Cuna, BA. Bloque Autóctono, CO. Cordillera Oriental, CC. Cordillera Central, COC. Cordillera Occidental, B. Serranía de Baudó, PCt. Evento transamazónico, PCn. Evento nickeriense, C. Cámbrico, O. Ordovícico, pt. Permo-triásico, Js. Jurásico superior, ci. Cretácico inferior, pa. Paleoceno y Eoceno, m. Mioceno, Q. Cuaternario	53
Figura 14. Columna estratigráfica simplificada de las Formaciones Tibú y Mercedes y Aguardiente (según Julivert, 1968). 1: Formación Río Negro, 2: Formación. Tibú, 3: Formación. Mercedes, 4: Formación. Aguardiente, 5: Grupo. Capacho. a: nivel a Colombiceras y Deshayesites, b: nivel a Discorbis	55
Figura 15. Columna estratigráfica de las Formaciones Barco y Los Cuervos (según Fabre, 1981). 1: Formación. Mito-Juan, 2: Formación Barco, 3: Formación Los Cuervos, 4: Formación Mirador	57
Figura 16. Columna estratigráfica simplificada de las Formaciones León y Guayabo. 1: Formación Carbonera, 2: Formación León, 3: Formación Guayabo, 4: Formación Necesidad (Toussaint, 1993)	59
Figura 17. Mapa geológico preliminar de la plancha 87 - Sardinata, 2014 (Sujeto a modificaciones). SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO	60
Figura 18. Marco conceptual metodológico	67
Figura 19. Fotografías aéreas	68
Figura 20. Vista de la plancha 87 a escala 1:100.000 (cuadro amarillo) con relieve (exageración 1:3), el trazo de la falla las mercedes (línea rojas) y las geformas que adquiere la topografía	71
Figura 21. Movimiento en masa de estilo múltiple, ubicado en la jurisdicción del municipio de Villa Caro en la finca Santa Rosa. Orientación de la foto: N15E	73
Figura 22. Movimiento en masa de estilo sucesivo, ubicado sobre la vía principal que comunica al municipio de villa Caro con el corregimiento de Carmen de Nazaret. Orientación de la foto: SW	74

Figura 23. Movimiento en masa rotacional ocurrido en la Provincia de Chimborazo, Paccha, Ecuador, 2004 (Fotografía Kashypa Yada)	75
Figura 24. Movimiento en masa localizado sobre la vía que comunica a la ciudad de Cúcuta con Dos Ríos, en la vereda Brisas del Quindío. Orientación de la foto: E – N50E	79
Figura 25. Mapa de precipitaciones entre los años 1995 y 2012, en la plancha 87 –Sardinata a escala 1:100.000.	84
Figura 26. Movimiento en masa localizado en la Vereda Jácome en cercanías del Municipio de Gramalote. Se observan plantas inclinadas por un movimiento en masa que aun se encuentra activo. Orientación de la foto: N5E	86
Figura 27. Mapa de pendientes de la plancha 87 – Sardinata a escala 1:100000.	88
Figura 28. Mapa de inventarios de movimientos en masa según su importancia junto con los lineamientos y fallas presentes. Se observan puntos aleatorios, que no están relacionados con estructuras (ovalo morado). Plancha 87 a escala 1:100.000 modificada de del IGAC, 2006	92
Figura 29. Movimiento en masa rotacional, ubicado en Carmen de Nazareth que afectó dos viviendas, se percibe una reconstrucción de las mismas en el mismo lugar, con la línea roja se demarca la corona y la línea azul muestra la dirección del movimiento. Orientación fotografía: N57E	94
Figura 30. Movimiento en masa en el corregimiento de Carmen de Nazareth, con una vista de perfil del mismo, la corona no es visible en su totalidad mientras la dirección del movimiento de S15E bordea la pendiente de la montaña. Orientación de la fotografía: N50E	95
Figura 31. Movimiento en masa sobre la vía que comunica al municipio de Villa Caro con la vereda el oso, se visualiza la vía en muy mal estado y la ausencia total de vegetación. Orientación de la fotografía: S70°E	96
Figura 32. Panorámica de movimiento en masa de estilo compuesto, que afectó el municipio de Gramalote. Se delimita la corona y la Falla de Gramalote. Orientación de la fotografía: SE	97

Figura 33. Viviendas habitadas dentro del casco urbano de Gramalote (ovalo de color amarillo, que se ven amenazadas por movimientos en masa que pueden ser generados en época invernal. Orientación de la fotografía: N25E	98
Figura 34. Movimiento en masa situado en la intersección de la vía que comunica a la vereda Jácome con la vereda el triunfo y la quebrada el Zancudo. La dirección de movimiento es N82E. Orientación de la fotografía: N60W	99
Figura 35. Movimiento en masa situado en la intersección de la vía que comunica a la vereda Jácome con la vereda el triunfo y la quebrada el Zancudo. Orientación de la fotografía: N50E	100
Figura 36. Movimiento en masa a trescientos metros de Bucarasica, sobre la vía que comunica a este municipio con Sardinata. Se observa hacia la corona (indicada con la línea roja), la presencia de una vivienda amenazada por la ocurrencia de un nuevo movimiento en masa (ovalo amarillo); la dirección del movimiento es S10E. Orientación de la fotografía: S70W	101
Figura 37. Movimiento en masa a 500 metros al oriente de la cabecera municipal de Lourdes, la corona es delineada con color rojo y la dirección de movimiento es S20E indicado con la flecha azul. Encerrado en un círculo se muestra una vivienda en peligro que se ubica en cercanías del pie (delineado de verde) del fenómeno, además, la vía principal que comunica los municipios de Lourdes y Gramalote amenaza con ser obstruida. Orientación de la fotografía: NS	102
Figura 38. Movimiento en masa en la vereda del IDEMA. Hacia la corona está ubicada una vía terciaria destapada que comunica todas las fincas cercanas y a uno 50 metros se presentan varias viviendas. El movimiento tiene una dirección N55E (flecha azul). Orientación de la fotografía: S15W	103
Figura 39. En parte alta del municipio de Santiago se presenta la corona del movimiento en masa (línea roja) que se desenlaza, afectando varias viviendas y una escuela. Orientación de la fotografía: SW	104

- Figura 40. Deslizamiento rotacional que se encuentra amenazando las viviendas ubicadas hacia el pie del movimiento en masa (ovaló amarillo). Hay crecimiento de vegetación que colabora con la estabilidad del material afectado (Shale). Orientación de la fotografía: SW 105
- Figura 41. Panorámica del flujo de detritos, rocas y tierras (entre las líneas amarillas) sobre la quebrada San José. La dirección del movimiento es S30E (flecha azul), en la vía principal (línea roja) aun se observan los vestigios del movimiento en masa. Orientación de la fotografía: N52W 106
- Figura 42. Vista de la corona (línea roja) del movimiento en masa ubicado en la quebrada San José. El uso del suelo más afectado hacia la corona es de tipo agrícola y ganadero. Orientación de la fotografía: N70W 107

## LISTA DE GRAFICOS

	<b>Pág.</b>
Grafico 1. Porcentaje de movimientos en masa según el estilo de movimiento	76
Grafico 2. Cantidad de movimientos en masa según su estilo	76
Grafico 3. Cantidad de movimientos en masa según unidad geológica asociada	77
Grafico 4. Porcentaje de movimientos en masa según unidad geológica asociada	78
Grafico 5. Distribución de procesos sobre la unidad Ortoneis	80
Grafico 6. Distribución de procesos sobre la Formación Aguardiente	80
Grafico 7. Cantidad de elementos posibles a afectar	81
Grafico 8. Porcentaje de elementos posibles a afectar	82
Grafico 9. Porcentaje de movimientos según el uso del suelo	82
Grafico 10. Cantidad de procesos según el agente detonante	83
Grafico 11. Porcentaje de movimientos en masa según el grado de erosión	85
Grafico 12. Porcentaje de movimiento en masa según la pendiente asociada	87
Grafico 13. Movimientos en masa ubicados según la plancha 1:25000 afectada y su importancia, en plancha 87- Sardinata	90
Grafico 14. Movimientos asociados a lineamientos y fallas de la plancha 87 - Sardinata	92

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación tomada de Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas (2007). Según Cruden y Varnes (1996)	44
Tabla 2 Clasificación para el mapa de pendientes	87

## RESUMEN

**TITULO:** MOVIMIENTOS EN MASA ASOCIADOS A LAS UNIDADES GEOLOGICAS DE LA PLANCHA 87-SARDINATA, SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO REGIONAL BUCARAMANGA\*

**AUTOR:** BETANCOURT SUÁREZ Valentina.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** SIMMA, Movimientos en masa, Plancha 87- Sardinata, Norte de Santander, Esquemas de Ordenamiento Territorial.

### DESCRIPCION

El presente documento aporta información acerca de la distribución, las causas y las amenazas que representan los movimientos en masa que afectan la plancha 87 – Sardinata, donde se ubican los municipios de Gramalote, Bucarasica, Villa Caro, Zulia, Sardinata, Lourdes, Santiago y San Cayetano.

Para tal fin, se realizaron trabajos previos de análisis e interpretación de información existente, donde se incluyó la interpretación de fotografías aéreas, imágenes satelitales y tres comisiones de campo durante los meses de Junio, Agosto y Octubre; a partir de las cuales, se realizó una base de datos y su posterior análisis, arrojando las causas y los municipios más afectados.

A cada uno de los fenómenos inventariados, se les atribuyó unas características tales, como la unidad asociada, el grado de importancia, la apreciación del riesgo, las causas, precipitaciones, fallas y lineamientos presentes y ubicación de movimientos en masa según jurisdicción del municipio, permitiendo la generación de mapas a escala 1:100.000 mostrando las zonas más afectadas.

El presente documento es de gran ayuda para la agilización de las actividades necesarias para la gestión del riesgo que posee cada municipio, de acuerdo con los puntos más críticos vistos, además de que proporciona recomendaciones para evitar la ocurrencia de nuevos movimientos en masa en dichas zonas.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Universidad Industrial de Santander. Facultad De Ingenierías Físicoquímicas. Escuela De Geología. Director DIEGO GERARDO IBAÑEZ ALMEIDA

## ABSTRACT

**TITLE:** MASS MOVEMENTS ASOCIATED TO THE GEOLOGIC UNITIES FROM THE 87 PLATE - SARDINATA, COLOMBIAN GEOLOGICAL SURVEY FROM BUCARAMANGA REGIONAL.\*

**AUTHOR:** BETANCOURT SUÁREZ Valentina\*\*.

**KEYWORDS:** SIMMA, Mass movements, 87 Plate Sardinata, Norte de Santander, Territorial Order Schemes.

## DESCRIPTION

This document give information about the distribution, causes and the menace that represents all mass movements that concerns the 87 plate - Sardinata, where are located the towns of Gramalote, Bucarasica, Villa Caro, Zulia, Sardinata, Lourdes, Santiago and San Cayetano.

Indeed several previous works had been made like the interpretation and analysis of the existing information, where is included the interpretation of aero-photography, satellite images, and also a three days field commission during the months of June, August and October; from which it was realize a data base and its subsequent analysis, producing the causes and the most affected towns.

Every one of these registered phenomenon have several characteristics like, the associated unity, the degree importance, the risk appreciation, the causes, rainfalls, faults and lineaments and the location of mass movements according their town jurisdiction, allowing the creation of maps at a scale 1:100.000 showing the most affected zones.

The present document is a great help for the improvement of all the required activities for the risk paperwork which has each town, according to all critical points seen, besides that provides recommendations for avoiding the occurrence of new mass movements in the all visited zones.

---

\* Draft Grade

\*\* Industrial University of Santander. Faculty of Engineering Physicochemical. School Of Geology. Director DIEGO GERARDO IBAÑEZ ALMEIDA

## INTRODUCCIÓN

Una de las actividades contempladas dentro del proyecto de Cartografía Geológica y Muestreo Geoquímico de la Plancha No. 87 y 88 Departamento Norte de Santander es la realización de un inventario de de movimiento en masa en la plancha 87 – Sardinata a escala 1:100.000. Atendiendo a esto el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO celebró con el autor del presente informe el contrato 398 de 2013.

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 analiza los contextos geológicos, climáticos y antrópicos, además de identificar en forma preliminar zonas con mayor susceptibilidad a desarrollar movimientos en masa especialmente bajo condiciones extremas como lluvias fuertes o sismos.

Esta temática por ser investigada desde hace poco tiempo en Colombia, es escasa en información y se basa en unos pocos informes y trabajos realizados por distintos entes estatales. El inventario es presentado en un mapa con la distribución espacial de los movimientos señalados por puntos de diferente color y tamaño según el grado de importancia, además de una base de datos asociada a éste.

Los mapas de los inventarios de movimientos en masa son la base para la evaluación de amenaza y pueden ser usados como insumo para el mapa de evaluación de amenaza, ya que proveen la localización de los puntos y zonas (dado el caso de concentración de puntos) con problemas de inestabilidad.

El área de trabajo está ubicada hacia el Norte del departamento de Norte de Santander. El reconocimiento de campo se realizó en tres etapas, la primera se

lleva a cabo en alrededores de los municipios de Villa Caro, Carmen de Nazareth y Gramalote; en la segunda se recorrieron los municipios de Lourdes, Sardinata, Bucarasica y Gramalote; y por último se abarcaron las áreas que comprenden a los municipios de Santiago y Sardinata.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la relación que existe entre las unidades y estructuras geológicas presentes en la plancha 87-Sardinata con la ocurrencia de movimientos en masa que afectan la zona.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Elaborar un inventario donde se puedan consultar los movimientos en masa que afectan la zona comprendida en la plancha geológica 87-Sardinata.
2. Determinar las principales causas de los movimientos en masa.
3. Contribuir a los esquemas de ordenamiento territorial de los diferentes municipios en el tema relacionado con la gestión del riesgo asociado a los movimientos en masa, contribuyendo así a la planificación del territorio.
4. Determinar estadísticamente la ocurrencia de los movimientos en masa relacionándola con las unidades geológicas y estructuras geológicas presentes en la plancha 87-Sardinata.

## 2. JUSTIFICACION

Grandes pérdidas por movimientos en masa han acontecido en los últimos tiempos motivadas por el aumento exponencial de la población, las fuertes precipitaciones invernales y la reducción de los terrenos viables para la construcción, ya sea de carreteras, senderos, edificaciones, etc. Esto ha impulsado por parte del gobierno nacional a tener en cuenta la prevención de desastres, mediante la creación del decreto 919 de 1989 que organiza el sistema nacional para la prevención y atención de desastres, y posteriormente la ley 1523 que 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.

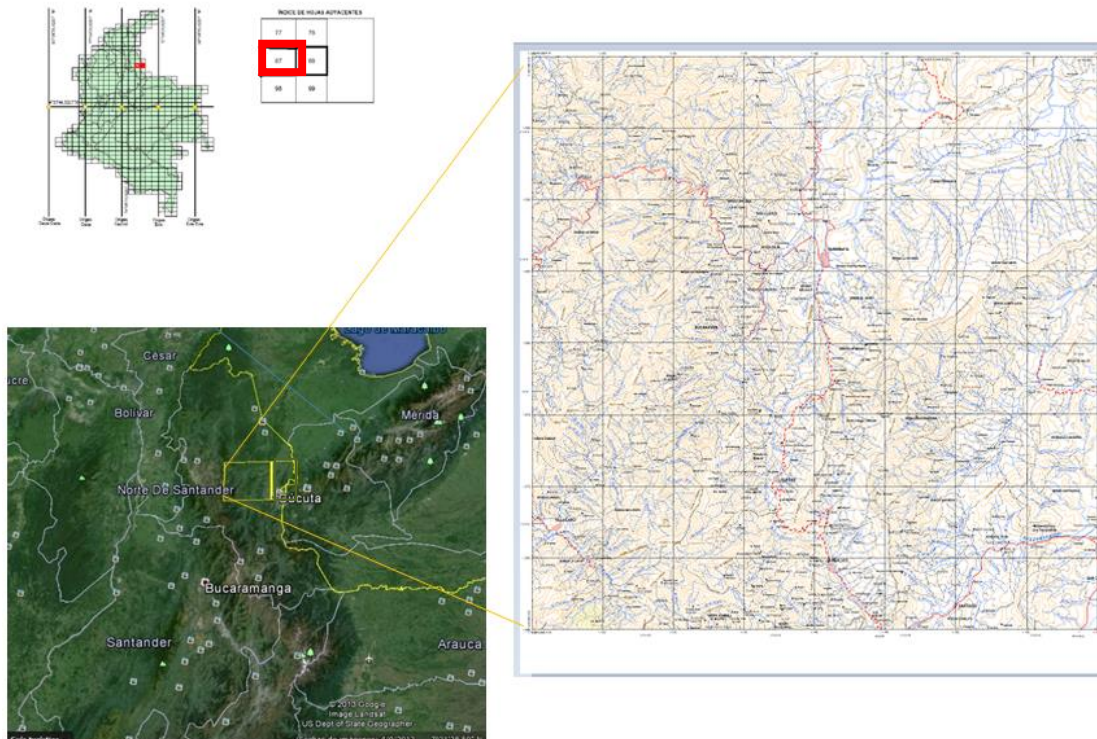
Para reducir el riesgo debido a la ocurrencia de movimientos en masa, los cuales generan pérdidas de vidas y grandes impactos a la economía y medio ambiente del país, es necesario realizar estudios detallados de estos fenómenos y su relación directa con la geología y la actividad antrópica.

Con esta práctica empresarial en el Servicio Geológico Colombiano, sede Bucaramanga, se pretende suministrar una información técnica a las diferentes alcaldías de los municipios comprendidos en la Plancha 87-Sardinata, sobre los sectores afectados por los movimientos en masa, su distribución, relación con la geología, causas, zonas y elementos amenazados, para que se incorpore este estudio a los esquemas de ordenamiento territorial y sirva como base en sus planes de desarrollo, planeando estrategias de mitigación y prevención ante la ocurrencia de estos fenómenos, disminuyendo así las pérdidas de vidas y afectaciones económicas.

### 3. LOCALIZACION

La plancha 87 –Sardinata se localiza en el departamento de Norte de Santander; está delimitada por las coordenadas X: 1'400.000 Y:1'120.000, X:1'400.000 Y: 1'166.000, X:1'360.000 Y:1'120.000 y X:1'360.000 Y:1'166.000 (Figura 1) con origen Magna Sirgas y Datum Magna Sirgas, comprende un área total de 1840 km<sup>2</sup> que abarca doce planchas a escala 1:25.000 que se mencionan a continuación: 87-I-A, 87-I-B, 87-I-C, 87-I-D, 87-II-A, 87-II-C, 87-III-A, 87-III-B, 87-III-C, 87-III-D, 87-IV-A y 87-IV-C.

Figura 1. Localización geográfica de la planchas 87 –Sardinata. Modificado del IGAC, 2005 y tomado de Google Earth , 2013.



Fuente: Autor del Proyecto

Dentro de la plancha del IGAC, están incluidos los municipios de Villa Caro, Sardinata, Gramalote, Lourdes, San Cayetano, Santiago y el Zulia, además de los corregimientos de Bucarasica y Cornejo. Por pertenecer a un área tan extensa, es fácil divisar topográficamente desde zonas de baja pendiente hasta zonas muy escarpadas, por otra parte las altitudes que se perciben, varían desde 100 a 200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) hasta 3500 m.s.n.m.

## 4. ANTECEDENTES

Se realizó una revisión bibliográfica de la zona de estudio relacionada con las variadas amenazas presentes; la compilación de documentos se muestra a continuación, junto con un breve resumen.

### 4.1 DEL RIO ALEJANDRO.

Reconocimiento geológico de la zona de deslizamientos en el acueducto de Cúcuta. Cúcuta, 1943. INGEOMINAS.

Se proyectó construir un túnel con destino al acueducto en una zona donde ocurrieron deslizamientos graves.

**Geología:** Esquistos arcillosos de color gris verdoso a rojizo, intercalados con areniscas de grano fino a medio y limo de espesores variables hasta de 15 metros pertenecientes al Terciario superior. Además de presencia de terrazas de tipo aluvial.

**Tectónica:** Al oeste de Cúcuta y en dirección N-NE, ha sido localizada la falla de Tasajero, de desplazamiento considerable que se extiende hacia el SW asociada con fallas menores.

### 4.2 MENDOZA JESÚS HERNANDO.

Deslizamiento en vereda el zumbador, municipio de Gramalote Norte de Santander. Bucaramanga, 1988. INGEOMINAS.

El sitio del deslizamiento se ubica en las coordenadas: X: 1373200 y Y: 1145000 Z: 2000 (LOMA LA CANAL). La zona del deslizamiento comprende secuencias

sedimentarias de areniscas intercaladas con niveles de lutitas y limolitas (Grupo Aguardiente). El deslizamiento comienza el 7 de octubre de 1987 y continúa desplazándose lentamente hasta la tercera semana de noviembre, el tipo de movimiento comprende caída de roca (dirección de movimiento: N60W), flujos de escombros (dirección de movimiento: N10W), el movimiento se encuentra confinado debido a la presencia de un bosque de Cedro y Nogal.

### **4.3 CASTRO MARÍN EDUARDO.**

Localización preliminar de amenazas en el departamento de Norte de Santander. Bucaramanga, 1992. INGEOMINAS.

El variado relieve departamental de altas montañas y valles amplios sometidos a intensos procesos de erosión, hace que varios municipios se encuentren amenazados por fenómenos naturales como son: Movimientos en masa, inundaciones y la actividad sísmica (liberación de energía a través de fallas activas).

**Amenaza sísmica:** Se presentan fallas importantes como: la falla de Bucaramanga, San Jacinto, Mercedes – Mutiscua, Morro Negro, Labateca-Chucarima y Samaria que están activas. El municipio más afectado es la ciudad de Cúcuta con 13 sismos seguida de Arboledas, Bucarasica, Cáchira, Cucutilla y Pamplona.

**Amenaza por deslizamientos:** Los municipios más afectados son: Cúcuta y Pamplona con 8 y 6 eventos respectivamente.

**Amenaza por inundaciones:** Los municipios más afectados son: Cúcuta, El Carmen, Arboledas, Cáchira, Cucutilla, Pamplona, Silos, Villa del Rosario.

#### **4.4 LEYVA OMAR, CARRILLO EDGAR**

Informe preliminar del estudio de prefactibilidad de sitios para la reubicación del casco urbano del municipio de Gramalote, departamento de Norte de Santander. Bogotá D.C., 24 de Junio del 2011. INGEOMINAS.

Se presentan movimientos en masa clasificados como flujos de detritos y bloques y deslizamiento rotacional, los cuales fueron causados por la intensidad de lluvias para la temporada decembrina del 2010, el alto grado de inclinación de la pendiente del terreno, los depósitos (depósitos tipo coluvial clasto soportado, representado por grandes bloques de areniscas y calizas) y litología aflorante que consta de arcillas pizarrosas negras con intercalaciones de caliza (formaciones Aguardiente y La Luna), la ocurrencia de pequeños sismos registrados por la Red Sismológica Nacional (cuatro sismos con variaciones en la escala de Richter en su magnitud de 1 a 3.8), la presencia de la falla de gramalote y algunas fallas menores. A partir de los movimientos en masa, se realizó un estudio para la reubicación del casco urbano del municipio de Gramalote, que generó un mapa de geomorfológico y de unidades geológicas superficiales.

## 5. MARCO TEORICO

A continuación se anexan dos textos que se tomaron como guías para el presente trabajo y que contienen la metodología del diligenciamiento del formato de inventario de movimiento en masa presentado en el ANEXO 1 y los conceptos claves para el entendimiento del proyecto.

### 5.1 INSTRUCTIVO PARA EL DILIGENCIAMIENTO DEL FORMATO DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

El formato que se utilizó durante la recolección de movimientos en masa se puede observar en el ANEXO La siguiente información es tomada del Proyecto Multinacional Andino (PMA): geociencias para las comunidades andinas. 2007. movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. INGEOMINAS, Publicación Geológica Multinacional, no. 4, 432 p., 1 CD-ROM.. p. 87 – 102.

**5.1.1 Encabezado.** Aparte del título del formulario, en el encabezado se solicita la siguiente información:

**5.1.2 Nombre del encuestador.** Nombre (s) de la persona (s) que recopila los datos bien sea en campo, oficina o en ambos.

**5.1.3 Fecha.** Corresponde a la fecha en que se diligencia el formulario y no se debe confundir con la fecha de ocurrencia del evento que se solicita en el campo indicado de actividad del movimiento.

**5.1.4 Institución.** En este caso de debe escribir el nombre de la Institución que va a administrar los datos recopilados.

**5.1.5 Código del evento.** Este corresponde a un campo que servirá como Número de Identificación del evento dentro de la base de datos sobre movimientos en masa en la región Andina. Eventualmente, sin embargo, puede utilizarse para una codificación particular de la institución usuaria de la base de datos, por ejemplo PERU-0001.

**5.1.6 Localización geográfica y documental del evento.** Con este campo se pretende tener la localización general y detallada del lugar de ocurrencia del evento, desde un punto de vista geográfico y de documentos en donde éste se pueda localizar. Para ello, el formulario solicita información en los siguientes cuatro aspectos:

**5.1.6.1 División política.** Se debe completar la información del nombre del país, continuando con las divisiones políticas menores hasta la más pequeña indicada como localidad, la cual puede corresponder a un barrio en el caso de una ciudad o de una vereda en el caso de una zona rural.

**5.1.6.2 Coordenadas.**

- **Sitio:** En este campo se debe indicar el sitio del movimiento en masa al cual corresponden las coordenadas solicitadas. Por ejemplo: Corona, Cabeza, Pie. Las coordenadas del sitio deben darse en términos de grados, minutos y segundos (o, ', ") indicando el tipo de proyección geográfica empleada. Sin embargo, ya que en ciertos países se utilizan coordenadas planas con orígenes arbitrarios, se ha dejado la opción Norte y Este. En estos casos debe indicarse el origen arbitrario.

**5.1.6.3 Referentes geográficos.** En el espacio en blanco se debe indicar algún accidente geográfico cercano o del mismo lugar de ocurrencia del evento, que

permita localizar el movimiento con respecto él. Para ello se pueden utilizar por ejemplo, la distancia a un cruce de ríos o el abscisado de una vía.

**5.1.6.4 Documentación.** La información solicitada en este caso, corresponde a mapas, planchas y fotografías aéreas en donde se pueda localizar el evento.

### **5.1.7 Actividad del movimiento**

**5.1.7.1 Fechas de ocurrencia.** Este campo permite registrar la historia de ocurrencia del movimiento bien sea para el caso de un movimiento único en el tiempo o para eventos de reactivación o de recurrencia del mismo tipo de movimiento en el mismo sitio. En el campo Primer Movimiento se debe registrar la fecha conocida (o estimada) del primer movimiento y continuar hasta la fecha más reciente para el caso de reactivaciones o de eventos recurrentes. La fecha a registrar debe ser la más precisa que se logre conocer en términos del día (DD), mes (MM) o año (AA), siendo lo ideal los tres datos. En el caso de movimientos antiguos o relictos, donde ni siquiera es posible establecer el año de ocurrencia, se debe procurar dar un estimativo de la edad del mismo en términos de años o de rango de años.

Los siguientes campos de Actividad corresponden al Estado, Estilo y Distribución del movimiento. El sentido de estos términos corresponde al dado por Cruden y Varnes (1996) y su significado se puede consultar en el Glosario de Términos Relacionados con Movimientos en Masa que acompaña esta publicación.

### **5.1.8 Litología y estratigrafía**

**5.1.8.1 Descripción.** En el campo disponible se debe hacer una breve descripción de la litología y estratigrafía del área que conforma la ladera sobre la que ocurrió el movimiento. Ésta debe incluir al menos la siguiente información: origen de la roca

(sedimentaria, ígnea, metamórfica), edad, Formación, descripción litológica y estratigráfica.

**5.1.8.2 Estructura, Orientación y Espaciamiento.** En las líneas correspondientes se debe escribir el tipo de estructura (plano de discontinuidad o de debilidad) que caracterizan la ladera. Entre ellos están, por ejemplo, los planos estratigráficos, las diaclasas, los planos de foliación y los planos de falla. Al frente de cada estructura se debe escribir la orientación de la misma en términos de dirección de buzamiento (DB) y buzamiento (BZ). Igualmente, para cada estructurase debe señalar con una X el rango de espaciamiento de los planos que la constituyan de acuerdo con los valores en metros dados en la tabla.

**5.1.9 Clasificación del movimiento.** Se estima que la información solicitada bajo este tema, más aquella de otros temas del formulario, puede ser suficiente para clasificar el tipo de movimiento en masa de acuerdo con alguno de los varios sistemas de clasificación propuestos por diferentes autores. De manera que antes de darle nombre al movimiento de acuerdo con la clasificación que se escoja, es recomendable que el encuestador analice cuidadosamente toda la información del formulario. Es decir que, aunque la clasificación ocupe este puesto dentro del formulario, el espacio correspondiente a la Clasificación del Movimiento, se complete al final, una vez se hayan completado todos los demás espacios con la información disponible y se haya realizado el esquema del movimiento junto con las fotos del mismo.

**5.1.9.1 Tipo de movimiento.** En este espacio se propone una lista de siete (7) tipos de movimientos con dos opciones para marcar en cada uno, ya que usualmente un evento de movimiento en masa suele involucrar más de un tipo de mecanismo. En las casillas bajo el número 1 se debe indicar el primer tipo de movimiento que ocurrió y en las que están bajo el número 2, el movimiento que

siguió a éste. Así, por ejemplo, el caso de una caída seguida por un flujo se marcaría de la siguiente manera:

1	2	
X		Caída
		Volcamiento
		Deslizamiento rotacional
		Deslizamiento traslacional
		Propagación lateral
	X	Reptación
		Flujo

**5.1.9.2 Material.** Para la caracterización y clasificación del material se solicita información sobre el tipo, humedad, plasticidad y origen del mismo. Para el tipo de material se presentan dos alternativas que el encuestador debe completar de acuerdo con la información disponible. La primera está dada en términos de Roca, Detritos y Tierra de acuerdo con la propuesta de Varnes (1978). La otra aplicaría únicamente para suelos para ingeniería y se solicita la información necesaria para su clasificación de acuerdo al Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (USCS).

En ambos casos se presenta un par de casillas a la izquierda y otras dos a la derecha. Las primeras bajo los números 1 y 2 tienen un significado similar al del tipo de movimiento, esto es 1 para el material involucrado en el primer movimiento pero antes de que este ocurriera y 2 para el material involucrado en el segundo movimiento si éste se llegó a presentar.

En las casillas de la derecha se debe indicar igualmente el porcentaje de cada material antes del movimiento (%1) y después de que este ocurrió (%2). A manera de ejemplo, para el caso de una caída de roca seguida por un flujo de detritos y tierra, los campos se indicarían como sigue:

1	2		%1	%2
X		Roca	100	
	X	Detritos		80
	X	Tierra		20

De igual manera se procedería para las casillas bajo el título Suelos Ingeniería.

Se debe tener en cuenta que la suma total de porcentajes de las columnas %1 o %2 debe necesariamente ser igual a 100 en cada una. La humedad del material hace referencia a la masa total de material involucrado en el movimiento, pero únicamente aplicaría para aquella parte que corresponde a los suelos para ingeniería. Tal como se muestra en el formulario, la humedad está subdividida en cinco categorías, de las cuales el encuestador debe elegir una para el primer movimiento (1) y otra para el segundo (2). A menos que se tengan datos de ensayos de humedad en laboratorio, la elección del grado cualitativo de humedad se debe estimar sobre la base de observaciones de campo y/o en lo que se pueda inferir a partir de testimonios y documentación disponible.

La **plasticidad** igualmente, debe estimarse a partir de observaciones o pruebas sencillas de campo, a menos que se tengan valores cuantitativos de ensayos de laboratorio. Esta apreciación es válida únicamente para los suelos denominados “finos”, es decir aquellos con partículas menores 0.074 mm (limos y arcillas). La estimación cualitativa de la plasticidad se puede realizar a partir de la composición del material.

Debe indicarse el **Origen del suelo** donde ocurrió la falla, en caso de que se tengan suelos de diferentes orígenes. Este aspecto debería indicarse gráficamente en el esquema del movimiento. En el caso de suelos sedimentarios, indicar el tipo de depósito (aluvial, lacustre, marino, eólico, glacial, etc.).

**5.1.9.3 Velocidad.** Indicar la velocidad estimada de acuerdo con los valores dados.

El rango de velocidades empleadas en esta sección corresponde a las velocidades típicas para cada rango, propuestas por Cruden y Varnes (1996).

**5.1.9.4 Clasificación del movimiento.** Como se mencionó anteriormente, este campo debería llenarse una vez se haya completado toda la demás información del formulario. En Sistema de Clasificación se escribe el nombre del sistema.

**5.1.10 Morfometría.** Este tema se divide en el formulario en cuatro grandes aspectos:

**5.1.10.1 General.** Se refiere a las características geométricas generales de la ladera una vez ocurrida la falla. La dirección del movimiento y el azimut del talud deben seguir la misma convención establecida para la dirección de buzamiento de las estructuras.

**5.1.10.2 Dimensiones.** La definición de las dimensiones lineales del movimiento se menciona a continuación (Figura 2):

**Ancho de la masa desplazada  $W_d$  (width of the displaced mass):** Ancho máximo de la masa desplazada que se mide en dirección perpendicular a la longitud  $L_d$ .

**Ancho de la superficie de falla  $w_r$  (width of the surface ruptura):** Ancho máximo entre los flancos de un deslizamiento, medido en sentido perpendicular a la línea  $L_r$ .

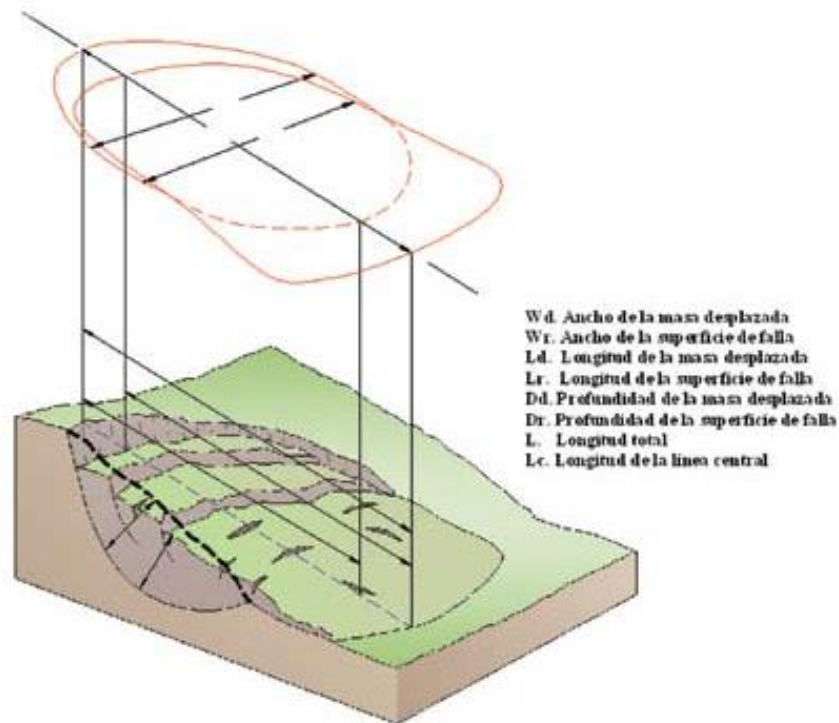
**Longitud de la masa desplazada  $l_d$  (length of displaced mass):** Distancia mínima desde la punta a la cima (Cruden y Varnes, 1996)

**Longitud de la superficie de falla (length of surface of rupture):** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla a la corona (Cruden y Varnes, 1996).

**Longitud de la línea central (length of centre line):** Distancia desde la corona a la punta del deslizamiento medida a lo largo de puntos localizados sobre la superficie original del terreno y equidistantes de las márgenes laterales de la superficie de falla y del material desplazado (Cruden y Varnes, 1996).

**Longitud total (total length):** Distancia mínima desde la punta del deslizamiento a la corona (Cruden y Varnes, 1996).

Figura 2. Dimensiones de un deslizamiento



Fuente: Autor del proyecto

**5.1.10.3 Deformación del terreno.** Este aspecto aplicaría únicamente para movimientos tipo deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales, propagación lateral, reptación y deformaciones gravitacionales profundas. Para estos casos, la deformación se refiere a los cambios de forma del terreno afectado por el movimiento que se pueden apreciar en superficie. En el formulario se sugieren dos tipos de deformación: Ondulación y Escalonamiento, pero bien puede darse otro tipo, caso en el cual se debe escribir el nombre enseguida de estos dos. La calificación del grado de severidad de cualquiera de los casos que se escoja tiene tres niveles:

**Leve:** cuando la deformación es apenas perceptible a simple vista o al caminar

**Media:** cuando la deformación es evidente con ondulaciones o escalonamientos apreciables al caminar. Árboles, cercas y postes inclinados, estructuras afectadas por agrietamientos o inclinaciones.

**Severa:** cuando el terreno se encuentra fuertemente afectado por múltiples desniveles, formando en ocasiones grandes bloques separados por grietas y escarpes secundarios. Cualquier estructura sobre este terreno está severamente afectada o destruida.

**5.1.10.4 Geoforma.** Este campo debe completarse con el nombre de la geoforma que mejor represente el lugar en donde se originó el movimiento, de acuerdo con los estándares de la Geomorfología.

**5.1.11 Causas del Movimiento.** El formulario presenta un extenso listado de las posibles causas del movimiento. Ya que varias de ellas pueden actuar bien como Condicionante o como Detonante del movimiento, se requiere indicar en los cuadros correspondientes todas aquellas que correspondan según el caso. En

algunas como la meteorización, el sismo o las lluvias, se requiere la información adicional que se indica al frente de ellas.

**5.1.12 Cobertura y uso del suelo.** En este caso se debe indicar el tipo de cobertura y tipo de uso en el cuadro a la izquierda del nombre y el porcentaje de esa cobertura en el cuadro al frente del mismo. Se han dejado espacios con cuadros adicionales para otros tipos.

**5.1.13 Documentos de referencia.** Para este tema se debe completar la información sobre los documentos consultados para completar el formulario, o que el encuestador determine que es de interés. En Autores se debe seguir la convención: PRIMER APELLIDO, SEGUNDO APELLIDO O INICIAL (para el caso de los autores hispanos), NOMBRE O INICIALES.

#### **5.1.14 Efectos Secundarios**

**Represamiento.** Este aspecto se refiere a represamientos de cursos de agua. Para este tipo de efecto se requieren cuatro tipos de información:

1. El tipo de represamiento, según la clasificación de Costa y Schuster (1988) que se ilustra en la **Figura 3**.

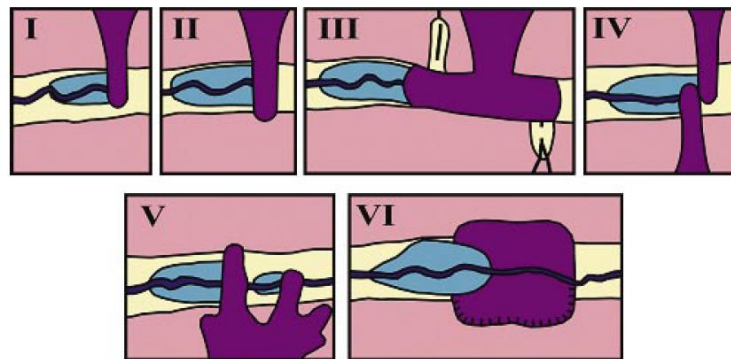
2. La morfometría o forma de la presa puede ser bastante irregular como se observa en los distintos tipos de la figura anterior y por lo tanto las dimensiones se deben adaptar con el mejor criterio, siguiendo las siguientes definiciones:

Longitud (en metros): Distancia horizontal entre el pie del talud aguas arriba y el pie del talud aguas abajo de la presa

Altura (en metros): Distancia vertical en el centro de la corona de la presa, medida desde el nivel natural del cauce hasta la superficie de la corona

Ancho (en metros): distancia horizontal transversal al curso de las aguas, medida a lo largo de la corona de la presa.

Figura 3. Tipo de represamiento según Costa y Schuster (1988)



Fuente: Autor del proyecto

3. Condición de la presa. Para completar estos campos se dan las siguientes indicaciones:

**Corona rebosada por el caudal:** un caudal de agua sale de la represa y fluye superficialmente sobre ésta.

**Filtración:** al pie de la presa hay nacientes que indican que hay infiltración de agua.

**Tubificación natural:** en el caso en que por infiltración se produce erosión de la presa, drenándola.

**Obstrucción parcial:** La presa no obstruye totalmente el cauce y por lo tanto el agua fluye por el costado no obstruido.

**Erosión de la pata:** la base de la presa ha sido o está siendo socavada por la corriente de agua

**Estabilización artificial:** sobre la presa se han realizado obras que han aumentado la condición inicial de su estabilidad.

**Tubificación artificial:** se ha construido un túnel para el drenado artificial del agua represada.

**Ligeramente socavada:** el caudal que drena la represa y que cruza a través de la presa, la ha erosionado en algunos sectores.

**Moderadamente socavada:** el agua drena la represa y causa visiblemente la erosión de la presa en todo su ancho.

**Fuertemente socavada:** el agua que drena la represa ha erosionado y formado una garganta en la presa pero aun no ha lavado todo el material de ésta.

**Completamente socavado:** La corriente de agua ha formado una garganta hasta la pata de la presa.

**Parcialmente fallada:** parte del cuerpo de la presa ha obviamente fallado catastróficamente y otra se mantiene en el sitio de manera que queda una represa  
Fallada: la presa falló catastróficamente y en el sitio quedan restos de la misma, o todo el material ha sido lavado por la corriente de agua.

4. Morfometría del embalse. Ya que una presa sobre un curso de agua conduce al embalsamiento de ésta, en este caso se debe completar la información solicitada. Aparte del represamiento, hay otros efectos secundarios de los movimientos en masa que son de gran importancia. En el formulario se deben indicar, en el cuadro

respectivo, cuáles de ellos ocurrieron. En el caso de tsunami, se solicita además la altura de la ola generada. Igualmente se han dejado cuadros adicionales para el caso de que se tengan otros efectos diferentes a los listados.

**5.1.15 Importancia del evento.** La importancia del evento se refiere a la calificación subjetiva de la severidad de los efectos adversos causados por el movimiento en masa. Esta calificación por lo tanto, está sujeta a la percepción y consideraciones de la persona que la realiza. Sin embargo, se sugieren los siguientes medidas cualitativas de estos efectos, inspiradas en lo propuesto por Fell et al. (2005):

**Alta:** Estructuras completamente destruidas o daño extensivo, en donde se requieren grandes obras de ingeniería para la estabilización o reparación.

**Media:** Daño moderado a algunas estructuras, o necesidad de grandes obras de estabilización

**Baja:** Poco o limitado daño a estructuras. Parte del sitio puede requerir algunos trabajos menores para su estabilización.

**5.1.16 Daños.** La información sobre los daños está dividida en los siguientes cuatro aspectos:

**5.1.16.1 Población.** Se debe consignar el número de muertos, heridos y damnificados

**5.1.16.2 Infraestructura.** En **Tipo** se debe especificar el tipo de estructura afectada, por ejemplo: vivienda, hospital, vía, acueducto, bocatoma, línea de energía.

En **Unidad** se debe especificar una unidad de medida compatible con el tipo de estructura.

En **Intensidad y cantidad** se debe especificar la cantidad de daño de acuerdo con la unidad de medida.

**5.1.16.3 Actividades económicas.** En forma similar al caso de la infraestructura, se debe indicar en cada línea el tipo de actividad, la unidad de medida para esa actividad y la cantidad de daño para cada intensidad.

**5.1.16.4 Daños ambientales.** Este campo guarda el mismo esquema de los dos anteriores y se debe completar siguiendo el mismo procedimiento.

**5.1.17 Notas y apreciación del riesgo.** Posiblemente durante el llenado del formulario no se encuentre un campo apropiado para alguna información que el encuestador considere de mucho interés, o que requiera aclarar o complementar. En estos casos, en el campo donde surja esta necesidad se debe marcar con un número entre paréntesis y utilizar el campo de NOTAS Y APRECIACION DEL RIESGO para escribir lo que corresponda. Adicionalmente, este campo se puede utilizar para dar un concepto general sobre el riesgo que representa el movimiento en masa.

En forma cualitativa se pueden estimar o inferir los daños (si estos pueden ser leves o destructivos), si estos son probables, como también indicar o describir que medidas u obras de prevención y/o mitigación han sido realizadas (si es que existen), observaciones geológicas e ingenieriles importantes, o las que se puedan recomendar.

**5.1.18 Esquema.** Este espacio del formulario se debe emplear para realizar un esquema en planta y perfil del movimiento, procurando emplear una escala apropiada con el mayor detalle posible de las características del mismo.

**5.1.19 Registro fotográfico.** El registro fotográfico del movimiento debe mostrar escenas relevantes del mismo. Se sugiere que al menos se tenga una foto panorámica, detalles del eskarpe principal, del cuerpo principal y pie. Las fotografías deben incluir escala y fecha de toma.

## **5.2 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA**

El transcurrir del tiempo lleva consigo numerosos conceptos que han surgido alrededor de la clasificación de movimientos en masa, se han unificado y separado términos similares que pueden generar una confusión a la hora del análisis de las zonas afectadas, dichas modificaciones aún se siguen realizando debido a que en distintas partes del mundo, se encuentran diversos significados para un mismo tipo de movimiento.

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991).

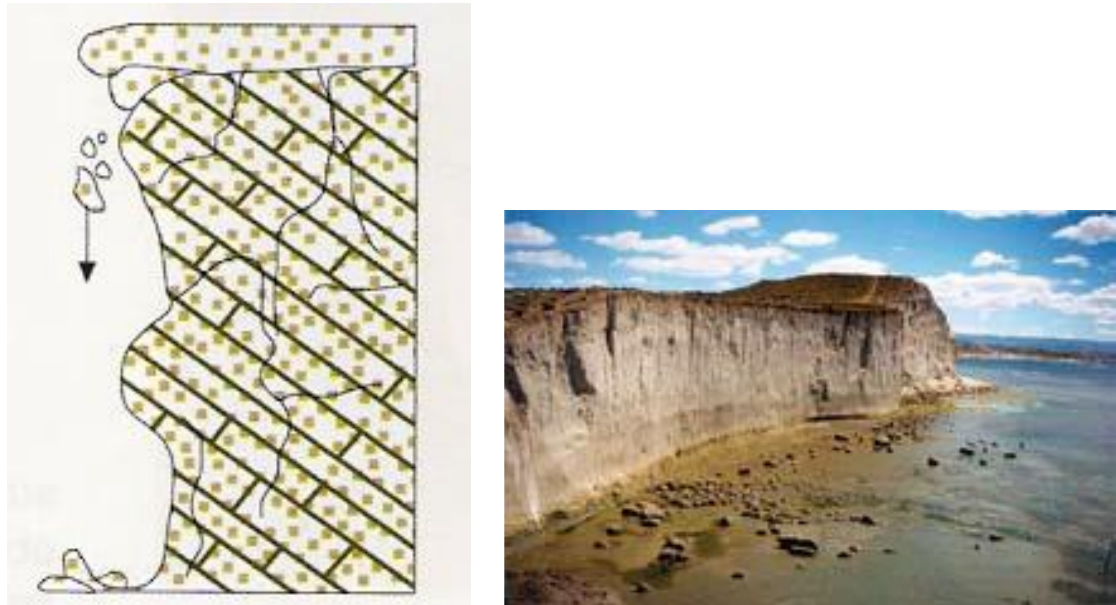
Para esta práctica se toma como base la clasificación hecha por Cruden y Varnes (1996), donde los movimientos en masa se clasifican en: Caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, propagaciones laterales y reptaciones (**Tabla 1**)

Tabla 1. Clasificación tomada de Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas (2007). Según Cruden y Varnes (1996).

<b>Tipo</b>	<b>Subtipo</b>
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)
Flujo	Flujo de detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de detritos Avalancha de rocas Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelos Soliflucción, geliflucción (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	

**5.2.1Caída (fall).** Se considera un 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, lo que significa que su movimiento acontece principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes,1978) (**Figura 4**). El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996).

Figura 4.a) Dibujo: caída de detritos tomado de Enrique Gil Bazán (2012), b) Costa Patagónica, Comodoro Rivadavia, Argentina.



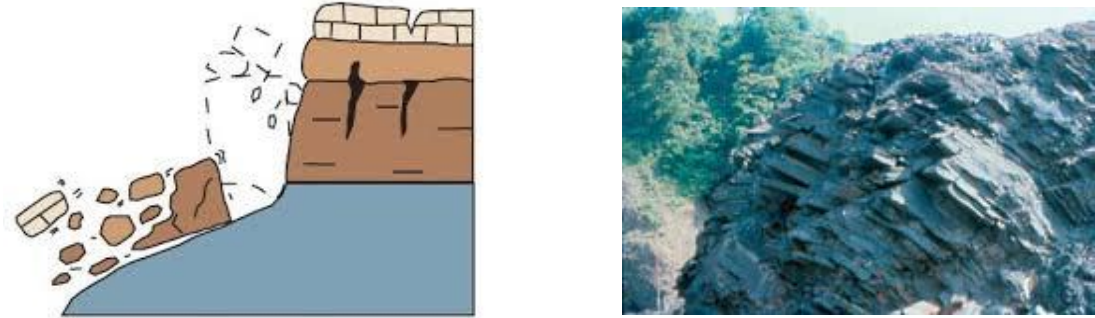
Fuente: Tomado de Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. [Fotografía]. Noviembre del 2007, p 7.

**5.2.2 Volcamiento (Toppling).** Este movimiento consiste en la rotación de la roca alrededor de un pivot o eje que se mueve hacia adelante de la cara del talud, ya sea natural o artificial.

Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978) (**Figura 5**).

La velocidad que toma este movimiento varía según el tipo de material.

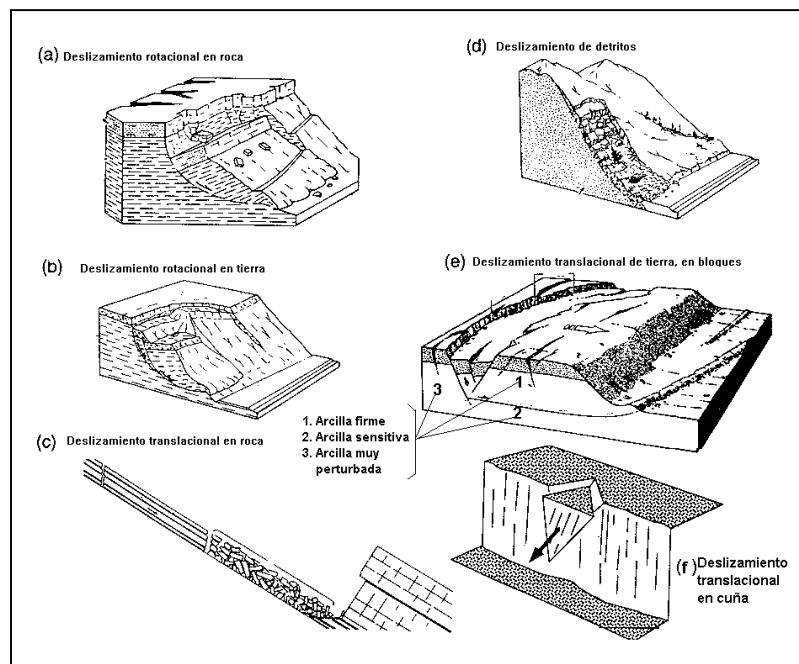
Figura 5. a) Dibujo: Volcamiento de roca, b) Vuelco flexural carretera Bogotá – Villavicencio, Colombia (Fotografía M. García)



Fuente: Tomado de Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. [Fotografía]. Noviembre del 2007, p 7.

**5.2.3 Deslizamiento.** Este movimiento ocurre a lo largo de una zona de corte o superficie de falla antigua, en algunos casos ésta puede generarse cuando ocurre el fenómeno; el desplazamiento acontece en dirección descendente (**Figura 6**).

Figura 6. Tipo de deslizamiento según material.



Fuente: Tomado de Cruden y Varnes, 1996.

Según la superficie de falla por la cual se desplaza la masa rocosa o de suelos se pueden clasificar en:

**5.2.3.1 Deslizamiento Traslacional.** La masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada, el desplazamiento ocurre sobre estas discontinuidades (Cruden y Varnes, 1996). La velocidad de los movimientos traslacionales puede variar desde rápida a extremadamente rápida.

a) Deslizamiento Planar: La traslación se realiza a través de un sólo plano.

b) Deslizamiento en Cuña: Movimiento delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersecan entre sí e intersecan la cara de la ladera o talud, por lo que el cuerpo se desplaza siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos o el buzamiento de uno de ellos. **(Figura 7)**

Figura 7. Noviembre del 2007, p 9 y 11. a) Fotografía de deslizamiento en cuña. Cerro Partido, Lima, Perú; b) Deslizamiento planar según los planos de estratificación de capas de areniscas y lutitas, Estado Falcón, Venezuela (Fotografía D. Salcedo).



**(a)**



**(b)**

Fuente: Tomado de Movimientos de la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. [Fotografía].

**5.2.3.2 Deslizamiento Rotacional.** La superficie de ruptura es cóncava o curvada, se distingue por que se forma una escarpe pronunciado además de la aparición de una contra pendiente hacia la cabeza del deslizamiento. (**Figura 8**)

Figura 8. Deslizamiento Rotacional, Cerro Mizhquiyacu, Ecuador, 1993.



Fuente: Tomado de Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas, 2007 [Fotografía].

**5.2.4 Propagación Lateral.** Este tipo de movimiento acontece por deformación interna de la roca o suelo.

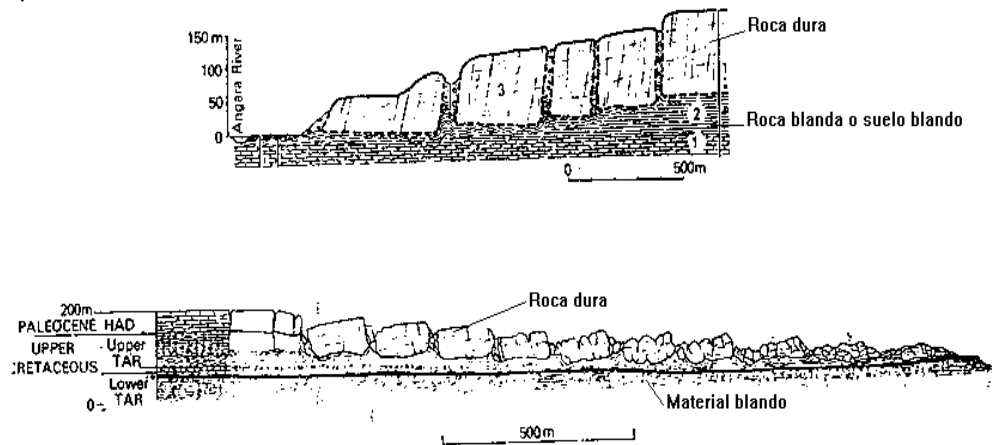
Se pueden presentar dos casos (**Figura 9**):

**5.2.4.1 Propagación Lateral en Bloque.** En éste se cuenta con una masa rocosa sub-horizontal a horizontal que suprayace un material más blando, al fragmentarse en bloques por presión el material blando asciende entre las fracturas. El movimiento en este caso es muy lento.

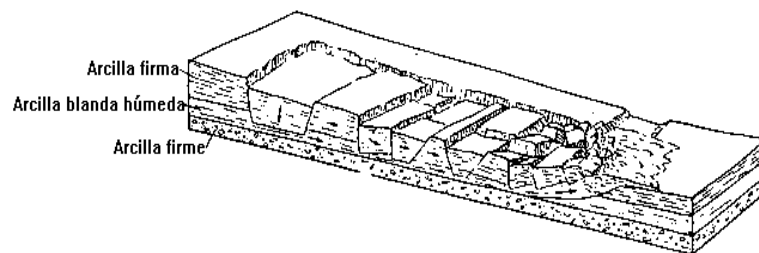
**5.2.4.2 Propagación lateral por Licuación.** consta de un suelo blando, húmedo y sensitivo, cubierto por suelo firme, el comportamiento del suelo es dúctil. Este movimiento es más rápido que el anterior.

Figura 9. Casos de propagación lateral; a) y b) Propagación lateral en bloques, c) Propagación lateral en tierra

(a y b) Propagación lateral en bloques



(c) Propagación lateral en tierra, por licuación o flujo plástico del material subyacente



Fuente: Tomado de Cruden y Varnes, 1996)

**5.2.5 Flujo.** Como su nombre lo indica se caracteriza por que su comportamiento es como el de un fluido, la velocidad de su desplazamiento varía de rápido a lento dependiendo del material y saturación de agua presente. Este movimiento toma lugar luego de otros movimientos. (**Figura 10**)

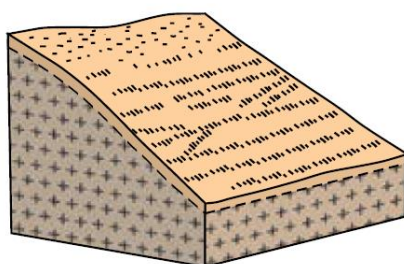
Figura 10. Flujo de lodo, Cerro Yantajirca, Yanahuanca, Pasco, Perú (Fotografía L. Fídel).



Fuente: Tomado de Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas, 2007 [Fotografía].

**5.2.6 Reptación.** Es un movimiento que sucede en las capas superficiales del suelo con uno o máximo dos metros de profundidad, donde no hay una superficie de fractura visible y la velocidad de ocurrencia es muy lenta pero continua, eso se desarrolla debido a cambios de volumen en el material (**Figura 11**).

Figura 11. Reptación de suelos. a) Esquema, b) Ladera en reptación, esquistos cloríticos meteorizados (Grupo Cajamarca) entre la carretera Ibagué – Armenia (esquina superior izquierda) y la quebrada Perales (esquina inferior derecha), Sector Cajamarca-La Línea, Tolima, Colombia



(a)



(b)

Fuente: Fotografía M. García GEMMA, 2007.

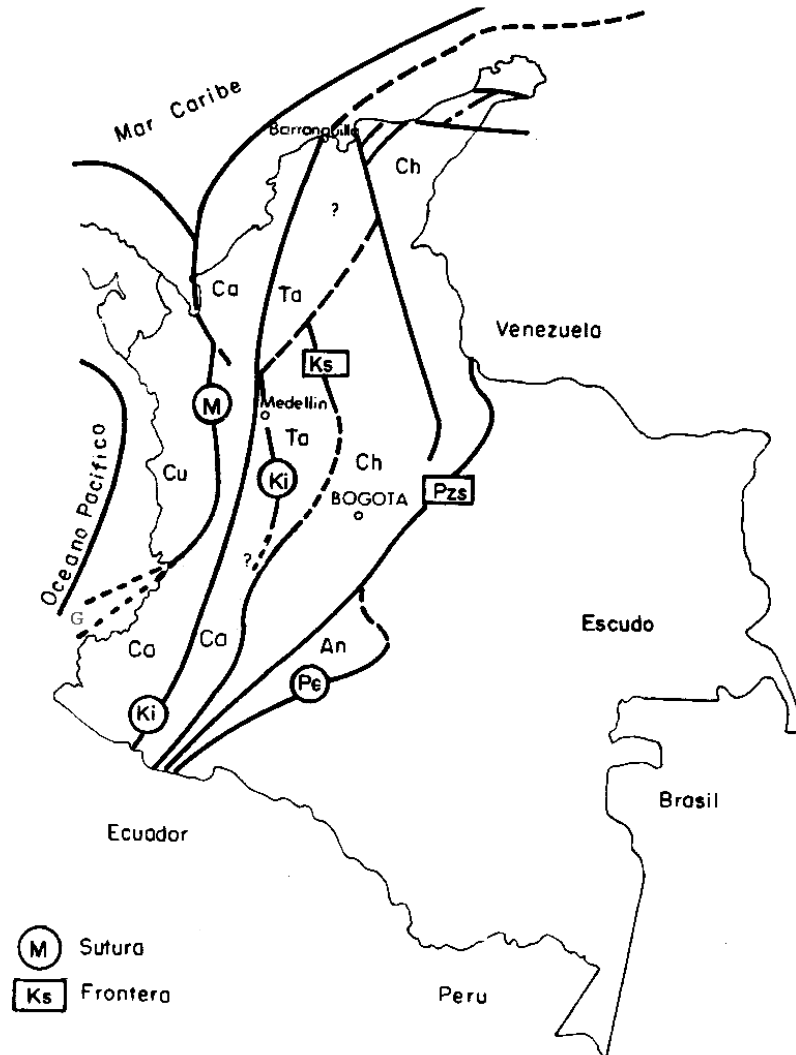
## 5.3 GEOLOGIA

**5.3.1 Geología regional.** Para el marco regional se tomó la evolución geológica de Colombia que realizó Jean François Toussaint en el 1993, reconstruyendo así una historia a través del tiempo que permite la explicación de la evolución geológica del departamento de Norte de Santander.

**5.3.1.1 Evolución geológica de Norte de Santander.** El entendimiento de esta evolución se explica brevemente con la introducción de un término llamado terreno. Un terreno es un pequeño pedazo de placa ubicado al borde de una placa y que tiene un movimiento relativamente independiente de ésta. Un terreno no tiene necesariamente el espesor de una placa y su tamaño es regional. Además posee una homogeneidad tectono-estratigráfica y una historia geológica propia, las cuales lo caracterizan y también lo diferencian de los terrenos o placas vecinas, sin que estas diferencias se puedan explicar por simples cambios laterales de facies o variaciones progresivas del estilo tectónico. Un terreno es por lo tanto limitado obligatoriamente por fallas (Toussaint, 1993).

Con la intención de abarcar la zona de estudio se tomó como referente al Terreno Chibcha mostrado en la **Figura 12**, junto a otros 6 terrenos que componen a Colombia.

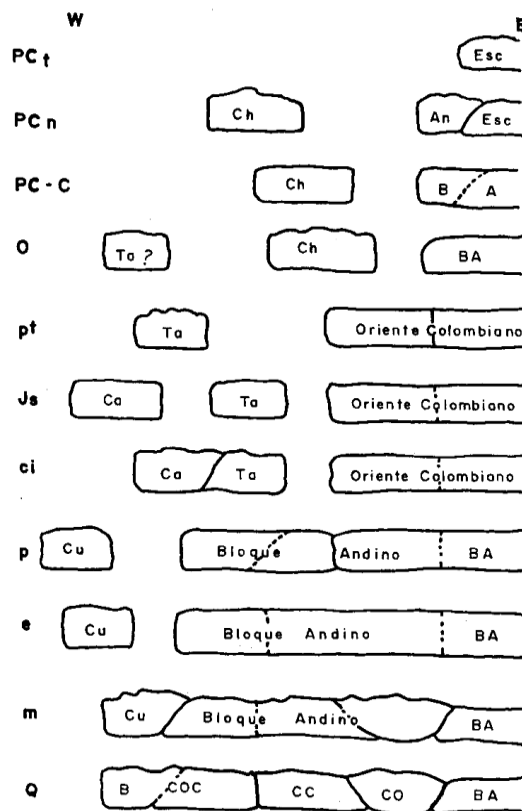
Figura 12. Mapa de los principales Terrenos de Colombia según Toussaint y Restrepo (1986 y 1989). An: Terreno Andaquí, Ch: Terreno Chibcha, Ta: Terreno Tahamí,, Ca: Terreno Calima, G: Terreno Gorgona, Cu: Terreno Cuna, PC: Sutura precámbrica, Pzs: Frontera paleozoica tardía, Ki: Sutura cretácica temprana, Ks: Frontera cretácica temprana, M:Sutura miocena.



Durante la orogenia caledoniana el Terreno Chibcha permite la acreción hacia el continente de Gondwana por la colisión entre Norteamérica y Sudamérica. Luego se emplaza en el Bloque Autóctono a finales del Paleozoico por medio de la

paleofalla de rumbo de Guaicáramo (**Figura 13**). El nuevo conjunto formó el Oriente Colombiano.

Figura 13. Cronología de las acreciones sucesivas sobre la base de un corte elaborado en los alrededores de 6°N. (según Toussaint y Restrepo, 1989). An. Terreno Andaquí, Ch. Terreno Chibcha, Ta. Terreno Tahamí, Ca. Terreno Calima, Cu. Terreno Cuna, BA. Bloque Autóctono, CO. Cordillera Oriental, CC. Cordillera Central, COC. Cordillera Occidental, B. Serranía de Baudó, PCt. Evento transamazónico, PCn. Evento nickeriense, C. Cámbrico, O. Ordovícico, pt. Permo-triásico, Js. Jurásico superior, ci. Cretácico inferior, pa. Paleoceno y Eoceno, m. Mioceno, Q. Cuaternario.

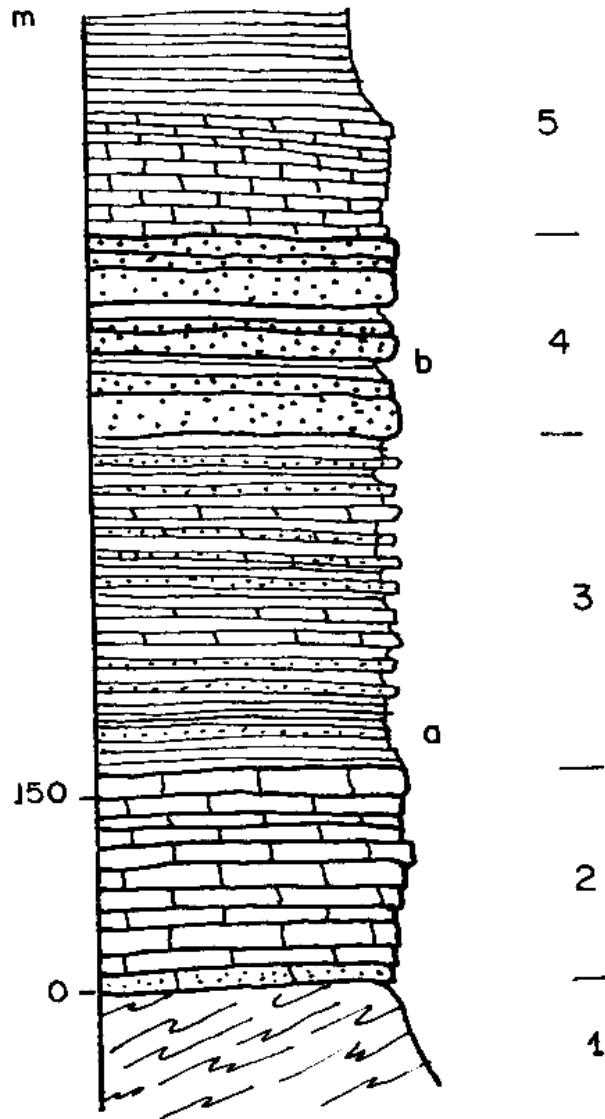


Durante esta acreción da lugar a un evento tectono-metamórfico denominado Caledoniano, con la afectación de secuencias sedimentarias por metamorfismo de

grado bajo a mediano, según Ward et. al (1973), el protolito mencionado pertenece al ordovícico por la presencia de fósiles como braquiópodos y crinoides mal preservados de un ambiente marino poco profundo.

Para el Triásico la parte más occidental del oriente colombiano es sometida a distensión debido a la separación del supercontinente Pangea, lo que provoca un vulcanismo por un rift aulacogeno como consecuencia de la disgregación de Pangea; físicamente se comprueba con el depósito de materiales vulcano-clásticos y flujos de lavas frecuentemente intercalados con rocas sedimentarias continentales o marinas del Triásico tardío y del Jurásico temprano, pero el vulcanismo parece terminar antes del Jurásico tardío tal como lo indica, por ejemplo, la presencia de rocas volcánicas y en particular de tobas en las formaciones Bocas y Jordán, pero con una notable ausencia de ellas en la Formación Girón. La separación del supercontinente motiva una distensión regional generando grabenes con aparición de fallas normales, así mismo la transgresión marina y posterior deposición de sedimentos a lo largo de estas cuencas que toma mayor fuerza en el cretácico, la prueba fehaciente son: La Formación Tibú constituida por un conglomerado basal seguido de areniscas calcáreas y calizas, en parte arrecifales, intercaladas con lutitas; recubierta en concordancia se encuentra la Formación Mercedes que presenta calizas grises intercaladas con lutitas oscuras y areniscas glauconíticas, y por último la Formación Aguardiente que consta de areniscas Glauconíticas de grano fino y grueso, intercaladas con algunas capas de arcillas pizarrosas negras y delgados lechos de caliza en la parte inferior (**Figura 14**).

Figura 14. Columna estratigráfica simplificada de las Formaciones Tibú y Mercedes y Aguardiente (según Julivert, 1968).1: Formación Río Negro, 2: Formación. Tibú, 3: Formación. Mercedes, 4: Formación. Aguardiente, 5: Grupo. Capacho.a: nivel a Colombiceras y Deshayesites, b: nivel a Discorbis.



El mar se profundiza a principios del cretácico tardío, motivado probablemente por una super-pluma mantelica (columnas estrechas de material proveniente del manto que se supone que existen bajo la corteza terrestre, produciendo puntos

calientes y lugares con vulcanismo anómalo, tomado de Wikipedia 2013.) para el Aptiano se deposita el Grupo Capacho que consta de calizas bituminosas en la base, seguida de capas de calizas negras y margas, este grupo se subdivide en tres formaciones denominadas: Formación Apon, Formación Lisure y Formación Maraca; las cuales desaparecen hacia la cuenca del río Catatumbo, en el cual solo aparece la última Formación nombrada.

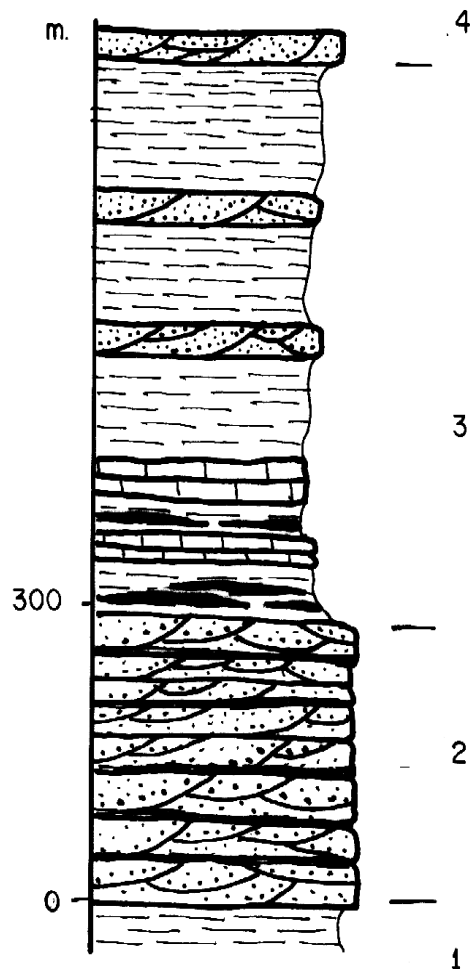
Durante el cenomaniano y santoniano, la transgresión del mar se dirige hacia los llanos orientales, cubriendo el macizo de Santander, el valle del río Magdalena y la cuenca del río Catatumbo, se depositan sedimentos euxínicos constituidos por lutitas oscuras asociadas a calizas, esta secuencia se nombra como Formación la Luna, dentro de ésta están comprendidos tres miembros que varían en la profundidad del ambiente marino desde aguas profundas a someras, con poca oxigenación, ayudando a la conservación de la materia orgánica; los miembros comprendidos son de base a techo: Miembro Salado, Pujama y Galembo.

Para el Campaniano y Maestrichtiano ocurre una regresión marina rápida la cual emerge al oriente colombiano, a principios del cenozoico, esto ocurre debido al descenso del fondo oceánico que da lugar al enfriamiento de la litosfera del océano pacífico, después de la intensa actividad de la superpluma originando así descenso del nivel del mar. Durante esta regresión se percibe un predominio de una gruesa sedimentación de areniscas con lutitas litorales, característico de las formaciones Colón, Mito-Juan, Catatumbo y Barco, para las dos últimas hay aparición en la parte superior de lentes de carbones con restos de plantas.

La Formación los Cuervos recubre la Formación Barco, iniciándose con varias capas de carbón, intercaladas con arcillolitas sideríticas y algunas capas de calizas que contienen *Diplopona* y *Anomia*, indicado así una pequeña transgresión local del mar durante el Paleoceno (Toussaint, 1993), depositada en un ambiente predominantemente somero a continental.

Ocurre un evento tectónico de regular magnitud durante el Paleoceno y principios del Eoceno, en el cual se depositó la Formación Mirador mostrada en la columna estratigráfica de la **Figura 15**, sobrepuesta a los cuervos con una ligera inconformidad, está constituida por bancos duros de areniscas cuarzosas de color gris y blanco, con grano fino a grueso y cemento silíceo.

Figura 15. Columna estratigráfica de las Formaciones Barco y Los Cuervos (según Fabre, 1981). 1: Formación. Mito-Juan, 2: Formación Barco, 3: Formación Los Cuervos, 4: Formación Mirador.

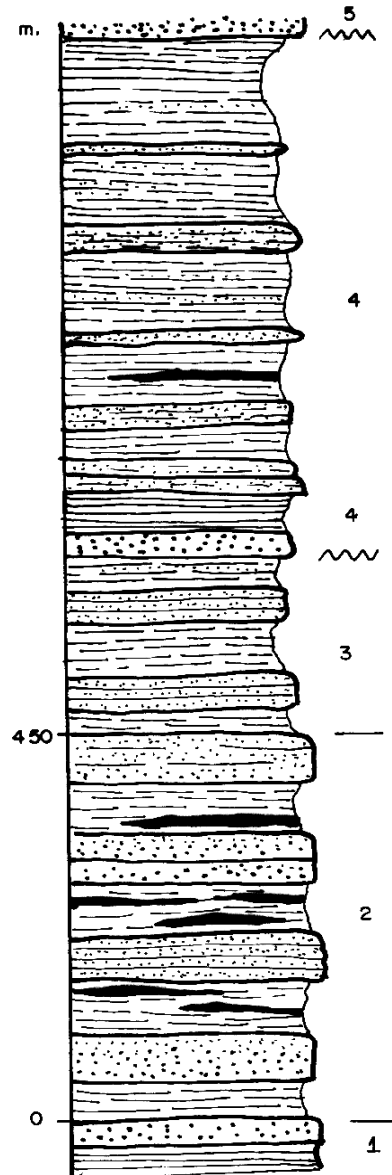


Del oligoceno al mioceno, en un contexto transicional, se deposita la Formación Carbonera que consta de arcillolitas grises, alternando con areniscas grises verdosas, de grano medio a fino y con limolitas interestratificadas con numerosas capas de carbón. La Formación León reposa en concordancia con la anterior y consta de arcillolitas y areniscas arcillosas que alcanzan un espesor mayor de 1000 m. Su edad es Oligoceno superior (Toussaint, 1993), parte de esta secuencia está ubicada en un ambiente marino de poca profundidad.

Sigue en concordancia el Grupo Guayabo que marca un ambiente continental y se ubica en el Mioceno inferior, se caracteriza por estar compuesto por arcillolitas grises y rojas, con algunos lentes de lignito, alcanzando un espesor de unos 800 metros.

El Plioceno está representado por la Formación Necesidad constituida por conglomerados, areniscas desde gruesa hasta fina y arcillas rojas, discordante sobre la Formación Guayabo. El espesor es generalmente débil alcanzando un máximo de unos 200 metros. Esta Formación está recubierta por depósitos aluviales recientes (Toussaint, 1993). La **Figura 16** muestra una columna representativa hecha por Toussaint (1993) en la que se contemplan desde la Formación Carbonera hasta la Formación Necesidad.

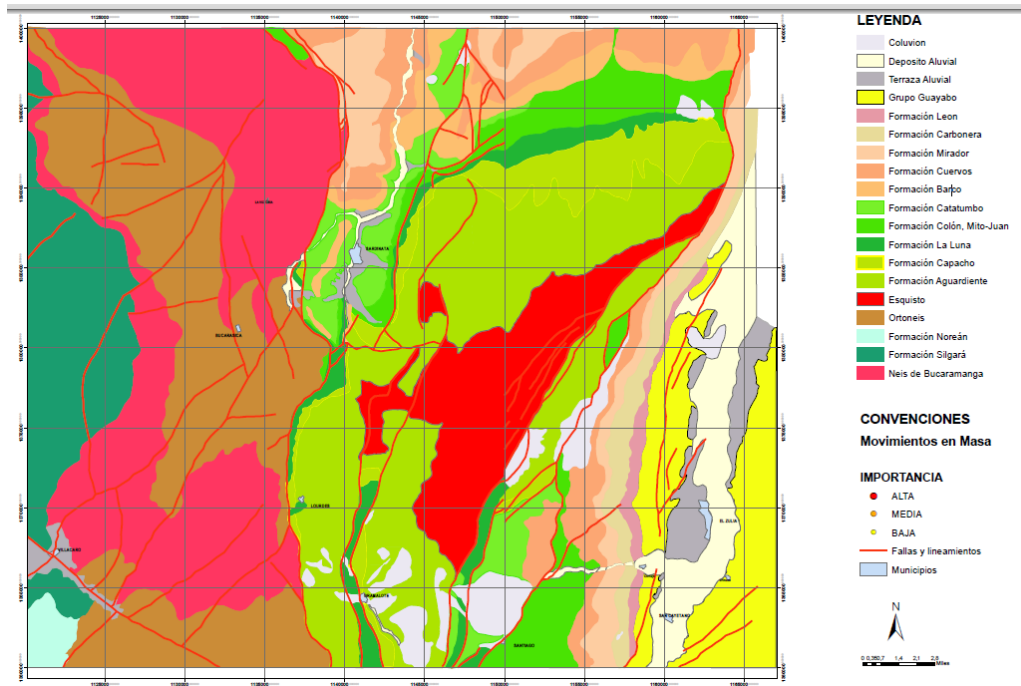
Figura 16. Columna estratigráfica simplificada de las Formaciones León y Guayabo. 1: Formación Carbonera, 2: Formación León, 3: Formación Guayabo, 4: Formación Necesidad (Toussaint, 1993)



**5.3.2 Geología local.** Para la Geología Local se tomó como base la estratigrafía y geología del proyecto de cartografía de la Plancha 87 – Sardinata, que se llevó a

cabo durante el año 2013. Se presenta a continuación el mapa con las unidades geológicas ubicadas espacialmente (**Figura 17**).

Figura 17. Mapa geológico preliminar de la plancha 87 - Sardinata, 2014 (Sujeto a modificaciones). SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO



La geología estructural y las unidades estratigráficas presentes en la zona se desglosan de la memoria del cuadrángulo G-13 elaborado por INGEOMINAS con mínimas modificaciones donde se agregan descripciones de la Geología de la Concesión Barco de Frank B. Notestein et. al para complementar el marco geológico local.

## ESTRATIGRAFIA

### Rocas Pre-cretáceas

**5.3.2.1 Formaciones del Basamento (gn, esq, gr).** Dentro de este título convergen litologías tanto ígneas como metamórficas que se presentan

subyaciendo los sedimentos jura-triásicos (Formación Girón) y los del Cretáceo Medio. Esta Formación está presente principalmente a lo largo de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental. Está constituido por rocas néisicas, bandeadas, a veces migmatíticas, de composición granítica, de esquistos altamente plegados y deformados, de grado metamórfico intermedio y de filitas.

La edad de las rocas metamórficas son del Pre-Mesozóico y posiblemente Devoniano o Pre-Devoniano. No hay presencia de intrusiones en sedimentos Cretáceos o Terciarios.

**5.3.2.2 Neis de Bucaramanga (Peb).** Secuencia estratificada de rocas meta-sedimentarias de alto grado metamórfico, consiste principalmente en paragneis pelítico, semipelítico y arenáceo esquistos en cantidades subordinadas de neis calcáreo, mármol, neis hornblendico y anfibolita, localmente migmatizado. (Ward et al., 1973).

**5.3.2.3 Ortogneis (Peo).** Cuerpo metamórfico de origen ígneo, con estructura néisica, aspecto masivo y composición félsica a intermedia, con procesos de metamorfismo secundario. Se observa intruyendo al Neis de Bucaramanga y la Formación Silgará (Maya, 2001)

**5.3.2.4 Formación Silgará (pDs).** Secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas. Presenta tres tipos de litología: filitas, meta-arenitas y esquistos. Coloración gris verdosa y tonalidades amarillas debido a la oxidación.  
Rocas del Jurásico y Triásico

**5.3.2.5 Formación Girón (jrg).** Descansando sobre las rocas cristalinas del basamento y subyaciendo las formaciones del Cretáceo medio, se encuentra esta Formación que aflora en la parte suroccidental del cuadrángulo. Se cree tiene una edad jura-triásica por su posición estratigráfica. Su espesor varía de 200 a 500 m.

## Rocas del Cretáceo

**5.3.2.6 Formación Aguardiente.** Consta de areniscas glauconíticas de grano fino y grueso, de color gris a verde claro, muy duras, intercaladas con algunas pocas laminas de arcilla pizarrosas negras, y delgados lechos de caliza en la parte inferior. Con un espesor que varía entre 148 y 275 metros.

La Formación en su totalidad es productora de petróleo. Debido a la presencia de fósiles como la amonita y el orbitolina cóncava texana se le asigna una edad del Aptiano Superior hasta el Albiano.

**5.3.2.7 Formación Capacho (kmc).** Esta Formación consta de arcillolitas pizarrosas (shales), negras a grises oscuras, con algunas intercalaciones de calizas fosilíferas y pequeñas cantidades de limolitas. La Formación suprayace a la Formación Aguardiente concordantemente. Su espesor varía entre 218 y 435 m. Su edad varía desde el Albiano Superior hasta el Turoniano Inferior.

**5.3.2.8 Formación la Luna (ksl).** Reposa concordantemente sobre la Formación Capacho. Consta de calizas duras, de color gris oscuro con nódulos de pedernal negro, que abundan hacia la parte superior y de arcillolitas pizarrosas negras muy calcáreas, bituminosas; hay presencia de foraminíferos. Concreciones densas de calizas, grises, son muy comunes. El espesor alcanza un promedio de 80 m. Por meteorización en la parte superior de la Formación, se han encontrado depósitos de fosfatos en el flanco norte del domo de Santiago y al sur de Gramalote. La edad de esta Formación va del Turoniano al Coniaciano.

**5.3.2.9 Formación Colon (ksc).** Conformada por arcillolitas pizarrosas de color gris, un poco calcáreas, ricas en foraminíferos. En la base y en contacto con la Formación La Luna, hay una serie de areniscas glauconíticas de 2 a 5 m. de espesor, con abundantes restos de peces y foraminíferos re-trabajados. Esta zona

yace bajo una arcillolita pizarrosa muy pirítica de 3 a 5 m. de espesor. El espesor de la Formación tiene un promedio de 240 m. El contacto se identifica por la aparición de calizas pertenecientes a la Formación la Luna que reposa concordantemente. La edad es del Santoniano a Campaniano, basado en foraminíferos.

**5.3.2.10 Formación Mito Juan (ksm).** Consta principalmente de arcillolitas pizarrosas gris verdoso, arcillolitas, limolíticas y arcillolitas arenosas, notándose un aumento de las areniscas hacia la parte superior. En la parte inferior hay areniscas pizarrosas. Hacia la parte alta hay delgadas capas de calizas ferruginosas, fosilíferas, arenosas y glauconíticas. Reposo concordantemente sobre la Formación Colón. El espesor tiene un promedio de 455. La edad es Maestrichtiano que se vislumbra por la aparición de foraminíferos.

**5.3.2.11 Formación Catatumbo (ksct).** Esta compuesta de arcillas pizarrosas y arcillas de color gris oscuro comúnmente carbobertnáceas, que contienen pequeños nódulos y capas delgadas de arcillas ferruginosas. En su parte inferior hay aparición de pequeños mantos de carbón. Su espesor es aproximadamente de 180 m aunque en algunos sectores aparece con 300 m. La edad de esta Formación varía del maestrichtiano superior hasta paleoceno inferior.

Rocas del Terciario

**5.3.2.12 Formación Barco (tpb).** Constituida por intercalaciones de arenisca (20 metros de espesor), de grano fino a medio, bien calibradas, de color gris y arcillas pizarrosas (90 metros de espesor), de color gris oscuro, en parte limolíticas, micáceas y carbonáceas, y muestran localmente abundantes globulos de siderita. La Formación Barco es altamente productiva de petróleo.

Las areniscas de la parte media y baja de la Formación, muestran un desarrollo secundario de sílice sobre los granos de arena. Hacia la parte posterior de la Formación, se presentan uno o más mantos delgados de carbón. La edad es del Paleoceno Inferior por polen (Van der Hammen, Bol. Geol. Vol.VI, pp. 93-96, 1958).

**5.3.2.13 Formación los Cuervos (tpc).** La Formación consta predominantemente de arcillas pizarrosas, arcillolitas carbonáceas, intercaladas con areniscas de grano muy fino y con mantos de carbón en la parte inferior. Constituyen la mayor reserva de carbón en la región. Suprayaciendo los mantos de carbón, la Formación consta de arcillolitas grises y gris verdosas, en parte limolíticas y sideríticas. Hay presencia de areniscas duras en toda la Formación. El espesor promedio es de 300 m. Se le asigna una edad del Paleoceno hasta el Eoceno Inferior (Van der Hammen).

**5.3.2.14 Formación Mirador (tem).** Constituida predominantemente de areniscas de grano fino a grueso, moderadamente duras a friables, limpias, masivas, de color pardo a blanco, a veces conglomeráticas. Un intervalo de arcillas pizarrosas, a veces arenosas y con areniscas delgadas, se presenta de 40 a 75 m encima de la base de la Formación, con un espesor de 10 hasta 70 m. El contacto inferior de la Formación Mirador, se marca donde las areniscas bien desarrolladas, reposan sobre arcillolitas o limolitas de la Formación Los Cuervos. El espesor tiene un promedio de 180 m. La edad se ha determinado palinológicamente como Eoceno Inferior a Medio (Van der Hammen). Se considera la Formación más productiva de petróleo.

**5.3.2.15 Formación Carbonera (tec).** Consta de una serie de arcillolitas grises abigarradas y sideríticas (en algunos sectores Shales gris oscuro), intercaladas con areniscas de color gris verdoso, de grano fino a grueso y algunos mantos de carbón en la parte Inferior y en el tope de la Formación. En la parte inferior y

superior, las areniscas son localmente glauconíticas; en estos mismos intervalos hay pequeñas capas de caliza. El espesor promedio es de 500 m y su edad va del Eoceno Superior al Oligoceno Inferior (Van der Hammen).

**5.3.2.16 Formación León (tol).** La Formación León está compuesta casi en su totalidad de arcillas pizarrosas, de color gris a gris verdoso, que presentan horizontes limolíticos hacia la parte baja y alta de la misma.

El contacto inferior de la Formación es normal y se marca donde ocurre el cambio de las arcillas pizarrosas puras de esta Formación a los sedimentos más arenosos de la Formación Carbonera. El espesor tiene un promedio de 545 m, con espesores mayores más al norte (cuadrángulo F-13), en donde la Formación se vuelve más arenosa. Palinológicamente la Formación es de edad Oligoceno (Van der Hammen).

**5.3.2.17 Formación Guayabo (tmg).** Aparecen arenas friables de color Pardo a gris claro, limolitas arcillolitas, y arcillas arenosas grises, con algunos horizontes de arcillas verdes y abigarradas. El Grupo Guayabo reposa concordantemente sobre la Formación León. El espesor tiene un rango de variación de 800m hasta de 2640 m al sureste de Cúcuta. Se toma una edad que se extiende desde el Mioceno hasta el Plioceno.

Cuaternario

**5.3.2.18 Depósitos Pleistocenos y recientes (qt,qal).** Existen depósitos de gravas y de arenas al largo de los ríos en forma de terrazas altas y aluvión de río. Depósitos coluviales: Se manifiestan cerca a las fallas de las Mercedes, Gramalote, Villa Caro y Tasajero, además de relieves de muy altas pendientes. Están constituidos principalmente de detritos y bloques angulares de roca, matriz

soportados que afectan principalmente a la Unidad Ortoneis, la Formación Aguardiente y el Grupo Guayabo.

## **GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

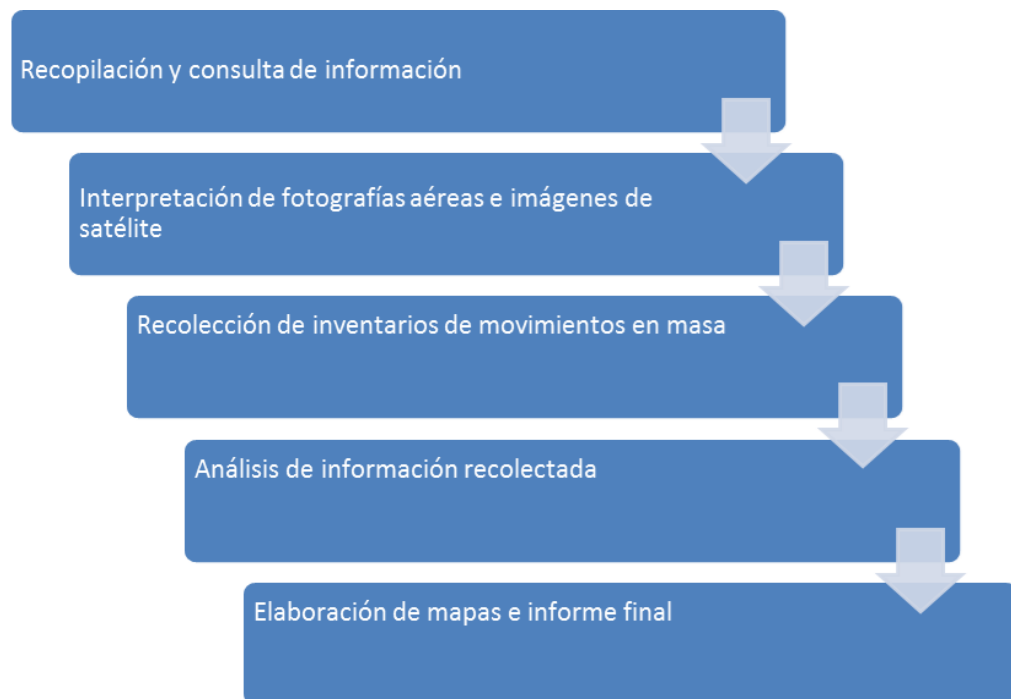
El área reposa principalmente a lo largo de la vertiente Oriental de la cordillera Oriental y en la esquina sureste, sobre la vertiente del norte de la cordillera de Mérida, donde ésta bifurca de la cordillera Oriental. Un complejo ígneo metamórfico, en el área occidental del Cuadrángulo está limitado por la falla Las Mercedes, de rumbo N-S y buzando al W, que cabalga al E sobre los estratos Cretáceos y Terciarios. El desplazamiento de dicha falla es del orden de los 2400 m. El Domo Santiago, en el centro y norte del Cuadrángulo, de rumbo N-E caracteriza otra importante estructura Geológica. Está fallado al lado SE. Al este del Domo hay una zona bien definida de sedimentos terciarios plegados, que incluye entre otros, los anticlinales Mucurera, Zulia, Cúcuta, Tasajero y Agua Caliente.

Entre estos y el Domo Santiago, se encuentra el sinclinal Zulia, considerado como el principal del Cuadrángulo.

## 6. METODOLOGÍA

La metodología seguida para la conformación del inventario de movimientos en masa de la planchas 87 - Sardinata del departamento de Norte de Santander, se resumen en la **Figura 18**.

Figura 18. Marco conceptual metodológico



### 6.1 RECOPIACION Y CONSULTA DE INFORMACION

Consiste en la recopilación de la información que exista alrededor de los movimientos en masa que se han presentado en la región. Dentro de esta actividad también se contempla la consecución de información básica como aerofotografías, planos topográficos, geológicos, geomorfológicos apropiados para la escala de trabajo (Esc. 1:100.000); así como la revisión y recopilación de información y formatos para caracterización y levantamiento de movimientos en masa.

## 6.2 INTERPRETACION DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES DE SATELITE

Se realizó una interpretación de fotografías aéreas (**Figura 19**) definiendo las litologías, depósitos recientes y principales estructuras, generando una cartografía preliminar. Por otra parte se tuvieron en cuenta los movimientos en masa identificados en la etapa de recopilación de información. Se toma como formato base el realizado por el Proyecto multinacional andino: geociencias para las comunidades andinas. 2007 (ANEXO 1).

Figura 19. Fotografías aéreas

FOTOGRAFIAS AEREAS	
LINEAS DE VUELO	FOTOS
M-43	3967-3988
M-62	6670-6685
M-63	6744-6759
M-543	60003-6019
M-1055	13147-13153
M-1065	13871-13890
M-1065	13891-13910
M-1075	14439-14456
M-1076	14574-14594
M-1115	17885-17902

## 6.3 RECOLECCION DE INVENTARIOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

La caracterización de movimientos en masa se realizó en tres etapas: La primera se llevó a cabo en las jurisdicciones de Villa Caro, Carmen de Nazareth y Gramalote, durante el 17 de junio al 1 de julio del 2013.

Para la segunda etapa, realizada entre el 12 y 26 de Agosto del 2013, se llevó a cabo la caracterización de los movimientos en masa en los sectores comprendidos por los municipios de Lourdes, Gramalote y Sardinata.

De igual manera, en la tercera etapa se efectuó un recorrido por los alrededores de los municipios del Zulia, Sardinata y Santiago, con la intención de recolectar nuevos inventarios. En el ANEXO 2 se muestra una base de datos con todos los procesos recolectados, 60 en total (ANEXO 9). La ubicación y caracterización de los movimientos en masa se realizó conjunto con los geólogos que cartografiaron la geología del sector, permitiendo así tener un planteamiento más integral al momento de estudiar cada proceso.

#### **6.4 ANALISIS DE INFORMACION**

Una vez recolectada la información de campo, se elaboró una base de datos en Microsoft EXCEL, la cual contiene los aspectos más importantes de cada uno de los procesos. A partir de la información, se realiza un análisis estadístico que permite reconocer los factores que afectan las zonas estudiadas. Durante la digitalización de los datos, se agregaron los inventarios de movimientos en masa al aplicativo del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), que se encuentra en la página oficial del SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, este aplicativo permite la consulta de los formatos de movimientos en masa realizados en cualquier parte del país, agilizando las actividades de prevención de futuros desastres.

#### **6.5 MAPAS INTERACTIVOS**

Con la base de datos conformada, se generaron varios mapas por medio de un SIG (ARC GIS), que permitió la visualización y consulta de cada uno de los procesos caracterizados sobre un sistema georeferenciado y teniendo como base un mapa topográfico y las estructuras geológicas definidas (ANEXO 3); por otro lado también se elaboraron mapas de pendientes (ANEXO 4) y de precipitaciones por interpolación IDW durante el periodo de tiempo comprendido de 1995 hasta 2012 (ANEXO 5).

## **7. RESULTADOS**

El departamento de Norte de Santander durante los últimos años, ha sido uno de los territorios más afectados por la fuerte ola invernal que ha amenazado la nación. Como un elemento de prevención, se realizan distintos estudios que abarcan el área trabajada. En el caso de los inventarios de movimientos en masa hay una preferencia hacia el centro de la plancha 87, en donde se aprecia el contacto entre las unidades sedimentarias y metamórficas, además de la falla de las mercedes que las separa. A continuación se presentan algunos rasgos geológicos y geomorfológicos generales, un análisis estadístico del compendio de la base de datos y un breve resumen de los sectores más afectados.

### **7.1 RASGOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS GENERALES**

Se presentaron dos generalidades en la estratigrafía de la plancha 87 – Sardinata a escala 1:100.000:

- Hacia el Oeste aparecen los cuerpos más antiguos, los intrusivos graníticos y el ortogneis con esporádicas apariciones de la Formación Girón y Aguardiente hacia el Sur –Oeste.
- Para el Este de la plancha, las unidades son principalmente sedimentarias. Comprende las Formaciones: Aguardiente, Capacho, la Luna, Colon, Mito Juan, Catatumbo, Barco, Los Cuervos, Mirador, Carbonera, León; el Grupo Guayabo y las unidades cuaternarias aluviales y de terrazas.

El predominio de las unidades, tanto para el Este como hacia el Oeste se diferencia superficialmente por las dos geoformas expuestas:

- Las rocas cristalinas (Intrusivos Graníticos, Ortogneis y Gneis de Bucaramanga) generan laderas de pendientes largas y fuertes, con filos semiredondeados. Al ser rocas con baja ductilidad hay una fuerte presencia de lineamientos y fallas.
- En las unidades sedimentarias se muestran dos tendencias: Para las formaciones Aguardiente, Capacho, la Luna y Mito Juan hay presencia de laderas escarpadas, alineadas en dirección N35°E, con filos agudos. Las geoformas características para las Formaciones Colon, Catatumbo, Barco, los Cuervos, Mirador, Carbonera, León y Grupo Guayabo son de valles muy anchos y con laderas de pendientes suaves a medias.

El contacto entre estas dos áreas está definido por el trazo de la falla Las Mercedes con orientación N-S (**Figura 20**).

Figura 20. Vista de la plancha 87 a escala 1:100.000 (cuadro amarillo) con relieve (exageración 1:3), el trazo de la falla las mercedes (línea roja) y las geoformas que adquiere la topografía.



Fuente: Imagen tomada de Google Earth, 2013.

## 7.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS PROCESOS

A continuación se presenta el procesamiento de datos con la utilización de todos los inventarios ponderados para realizar un análisis estadístico y una ubicación y localización de sectores susceptibles. Se utiliza el aplicativo del SIMMA para brindar la información de los sitios afectados

La ubicación espacial de los procesos de movimientos en masa inventariados en la plancha 87-Sardinata se presentan en el ANEXO 3, sobre el cual se observan 60 procesos (ANEXO 9) cartografiados en una plancha a escala 1:100000 con una descripción general de dichos puntos junto con los análisis estadísticos realizados. Los inventarios levantados en campo se presentan detallados dentro de los anexos añadidos en una base de datos.

Para la realización de la estadística, en el caso de los movimientos en masa se tomaron los atributos más relevantes, con la intención de entender las posibles causas que generaron estos desplazamientos en las zonas identificadas. Nueve tópicos fueron analizados estadísticamente, estos son: Estilo de movimiento, elementos posibles a afectar por repetición de movimiento en masa, mecanismos de falla, según el grado de importancia, uso de suelo del área afectada, agentes detonantes y el grado de intensidad de erosión asociada.

**7.2.1 Estilo de movimiento.** El estilo de actividad, indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. Se compone de cinco estilos: Complejo, compuesto, múltiple, sucesivo y único.

Se define al estilo complejo como un movimiento en masa que involucra una combinación de uno o más de los tipos de principales movimientos (así sea en diferentes partes del área afectada) del material durante la caída. Por ejemplo: El

caso de una caída de roca seguida por un flujo de detritos debido a la fragmentación.

El estilo compuesto se manifiesta cuando distintos movimientos ocurren en diferentes áreas de la masa desplazada (**Figura 47**).

El estilo múltiple es aquel en el que se desarrollan repetidos movimientos del mismo tipo, agrandando así, la superficie de falla (**Figura 21**)

Figura 21. Movimiento en masa de estilo múltiple, ubicado en la jurisdicción del municipio de Villa Caro en la finca Santa Rosa. Orientación de la foto: N15E.



El estilo sucesivo en el cual ocurre un mismo tipo de movimiento en masa en diferentes ocasiones sobre la misma ladera, pero que no comparte ni el material desplazado, ni la superficie de falla (**Figura 22**)

Figura 22. Movimiento en masa de estilo sucesivo, ubicado sobre la vía principal que comunica al municipio de villa Caro con el corregimiento de Carmen de Nazaret. Orientación de la foto: SW



Por último, está el estilo único que consiste en un solo movimiento del material y que frecuentemente ocurre como un bloque entero (**Figura 23**)

Figura 23. Movimiento en masa rotacional ocurrido en la Provincia de Chimborazo, Paccha, Ecuador, 2004 (Fotografía Kashypa Yada).



Fuente: Tomado de Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas, 2007.

De los 60 procesos inventariados se obtuvo un 40% (24 casos) para los movimientos múltiples, el estilo único con el 38% (23 casos), un 12 % en movimientos compuestos (7 casos) y por último un 10% en movimientos sucesivos. En la **Grafica 1 y 2** se puede observar la distribución de los procesos de acuerdo al estilo del movimiento, en la primera figura se muestra el porcentaje de estilos de movimientos sobre el total de datos obtenidos y en la segunda figura la cantidad numérica. Se debe recalcar que gran porcentaje está involucrado con el estilo de movimiento múltiple lo que indica la repetición del mismo tipo de movimiento, agrandando la superficie de falla y por consiguiente aumentando la

inestabilidad del terreno afectado, aparece también los movimientos sucesivos que generan inestabilidad en las laderas.

Grafico 1. Porcentaje de movimientos en masa según el estilo de movimiento.

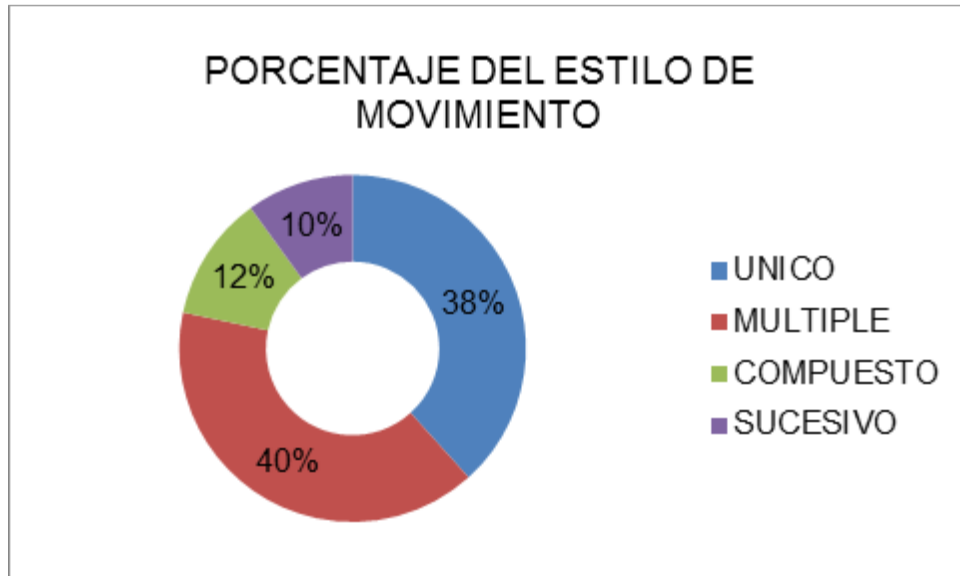
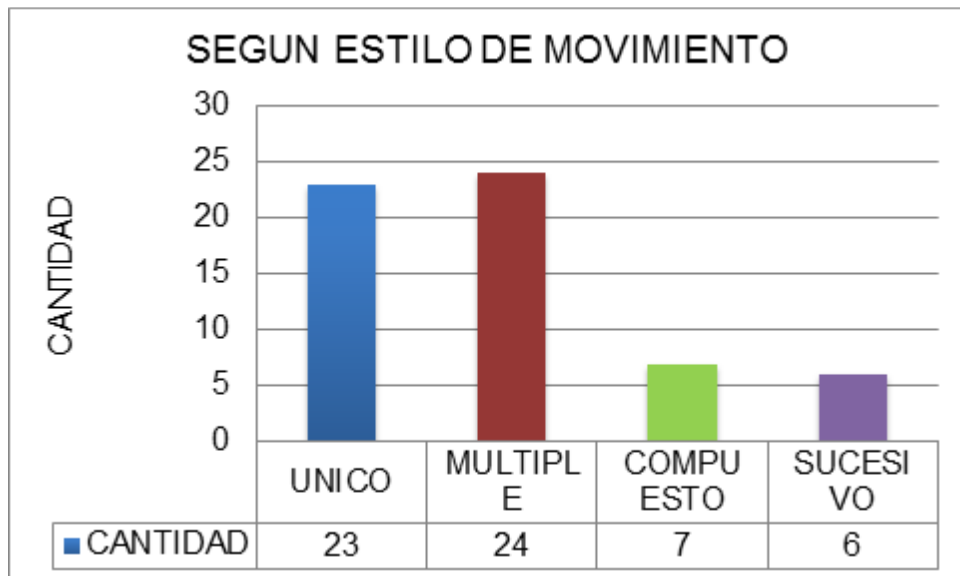


Grafico 2. Cantidad de movimientos en masa según su estilo.



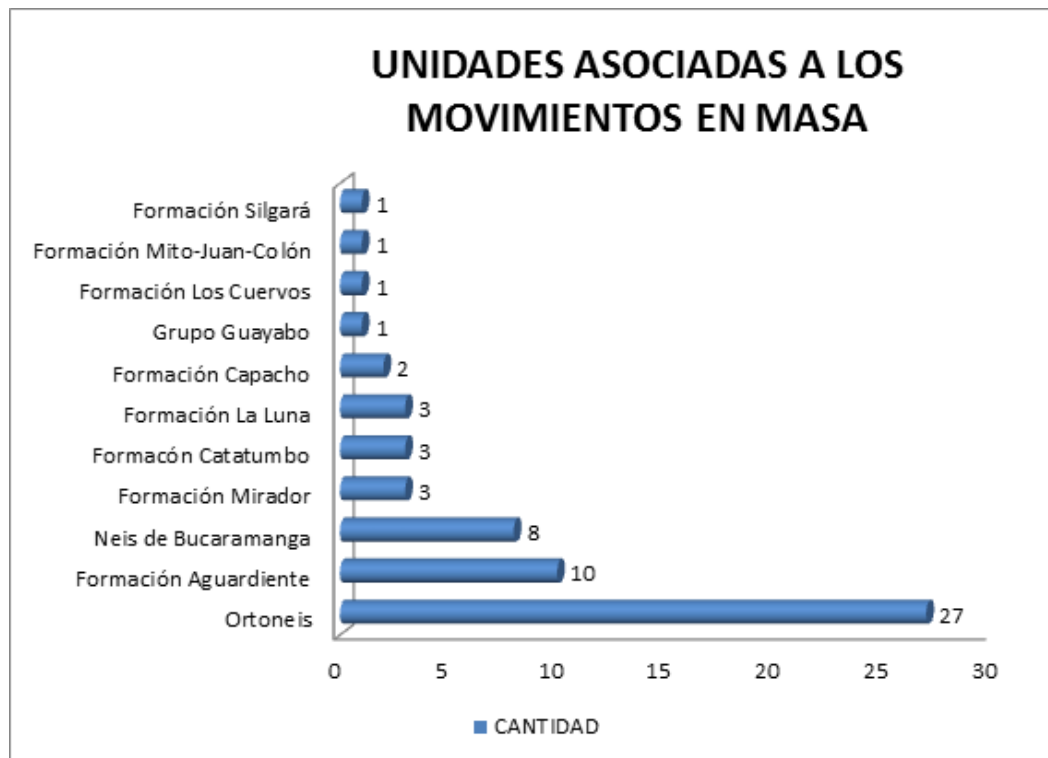
Los únicos que por su nombre se deduce y los compuestos que se refiere a varios tipos de movimientos con el mismo tipo de material.

### 7.2.2 Relación entre los procesos inventariados y las unidades afectadas.

En las **graficas 3 y 4** se puede observar la distribución de los procesos según la unidad geológica donde se presentaron (ANEXO 7).

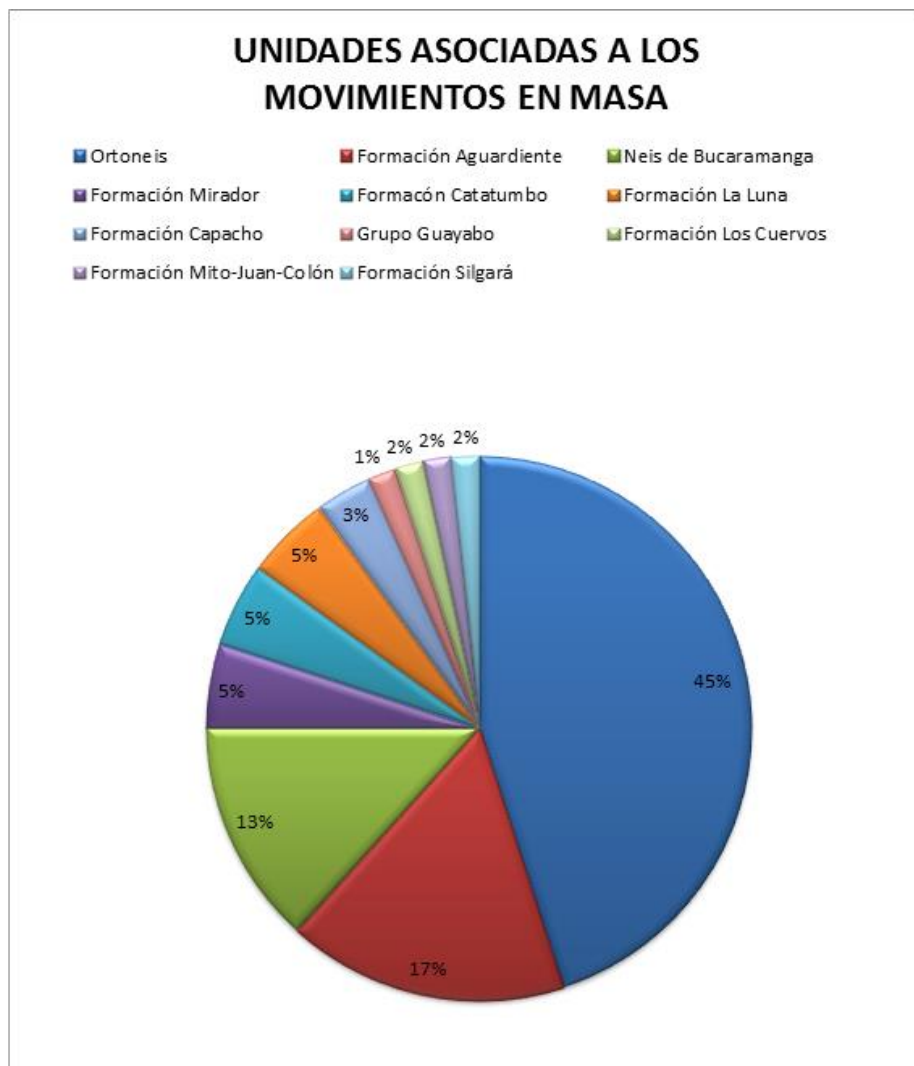
Se observó que la mayoría de los inventarios se presentan sobre el Ortogneis (45%) y la Formación Aguardiente (17%), Neis de Bucaramanga (13%), en menores proporciones está las Formaciones Mirador, Catatumbo, La Luna (5% cada una), la Formación Capacho (3%) y en última instancia el Grupo Guayabo, las Formaciones Cuervos, Mito-Juan-Colón y Silgará (cada uno con el 2%).

Grafico 3. Cantidad de movimientos en masa según unidad geológica asociada.



Con este análisis y de acuerdo con la predominancia del Ortozneis como la unidad más afectada, se puede concluir que aunque esta roca es muy competente en condiciones naturales, hay estructuras como lineamientos y fallas que debido a su baja ductilidad la están afectando fuertemente, generando inestabilidad y un fácil alteración de sus componentes, de esta misma manera se comporta el Neis de Bucaramanga; es visible en los afloramientos con la meteorización agresiva y aparición de minerales arcillosos, en algunos sectores la unidad se ha transformado en suelo residual con espesores considerables.

Grafico 4. Porcentaje de movimientos en masa según unidad geológica asociada.



La Formación Aguardiente, está compuesta por intercalaciones de areniscas, calizas y arcillolitas pizarrosas (shales). Todas las rocas bajo la acción del agua, se comportan de diferentes maneras ya sea por el cambio en sus características físicas y químicas. En el caso de las capas de shale por ser material dúctil tienden a cambiar su forma para alcanzar un equilibrio afectando la superficie y los estratos adyacentes, las areniscas por ser no dúctiles, y tener alta porosidad y permeabilidad, se comportan como esponjas que al tener una mínima sobrecarga sobre ellas pueden expulsar agua y modificar el terreno, en el caso de las calizas las aguas lluvias (por ser acidas) van disolviendo la roca lentamente. Los coluviones por no estar consolidados, se mueven cuando hay oleadas invernales fuertes sobre ellos, en la **Figura 24** se muestra un movimiento en masa sobre una zona de coluviones, que se reactiva con fuertes precipitaciones debido a su baja consolidación.

Figura 24. Movimiento en masa localizado sobre la vía que comunica a la ciudad de Cúcuta con Dos Ríos, en la vereda Brisas del Quindio. Orientación de la foto: E – N50E



En la **Grafica 5 y 6** se presenta la distribución de los procesos por mecanismo de falla para la unidad Ortogneis y la Formación Aguardiente, de donde se puede decir, que sobre la primera unidad nombrada, un 62% de los mecanismos de falla son deslizamientos traslacionales en cuña, continúa el deslizamiento traslacional con un 31%, también se presentan algunos deslizamientos traslacionales planares y rotacionales (4% y 3%, respectivamente para cada uno). Sobre la Formación

Aguardiente, la gran mayoría de los procesos son deslizamientos traslacionales (67%) y en menor proporción se encuentran deslizamientos rotacionales (11%), reptaciones (11%) y deslizamientos por flujo (11%), donde los deslizamientos traslacionales se presentan sobre los suelos residuales de la Formación Aguardiente.

Grafico 5. Distribución de procesos sobre la unidad Ortoneis.

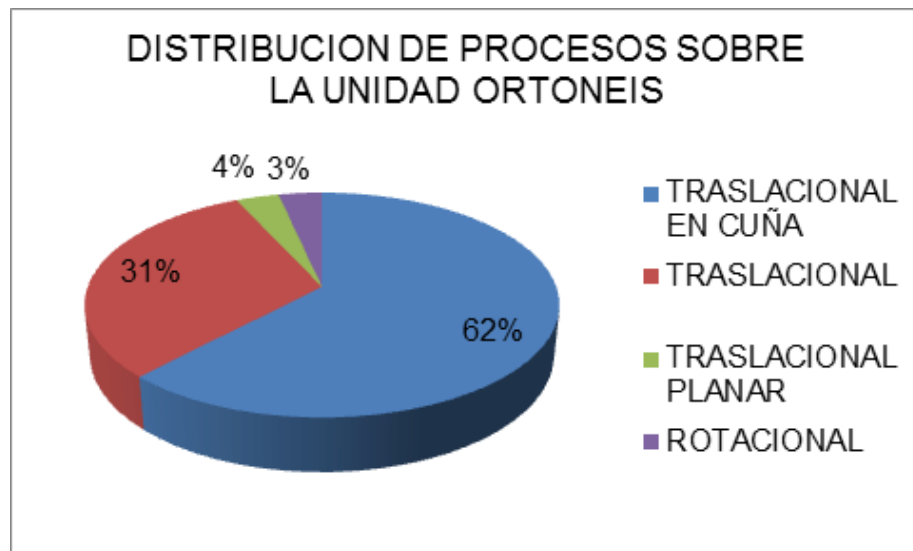
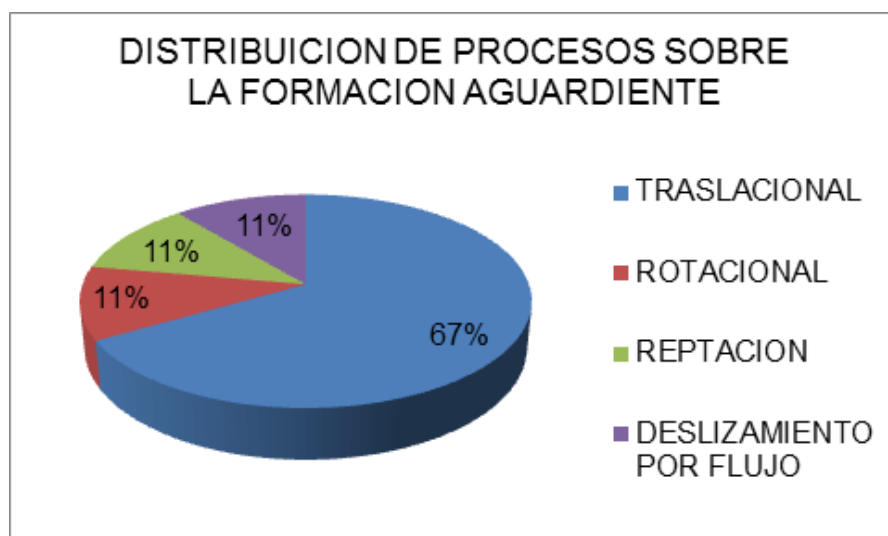
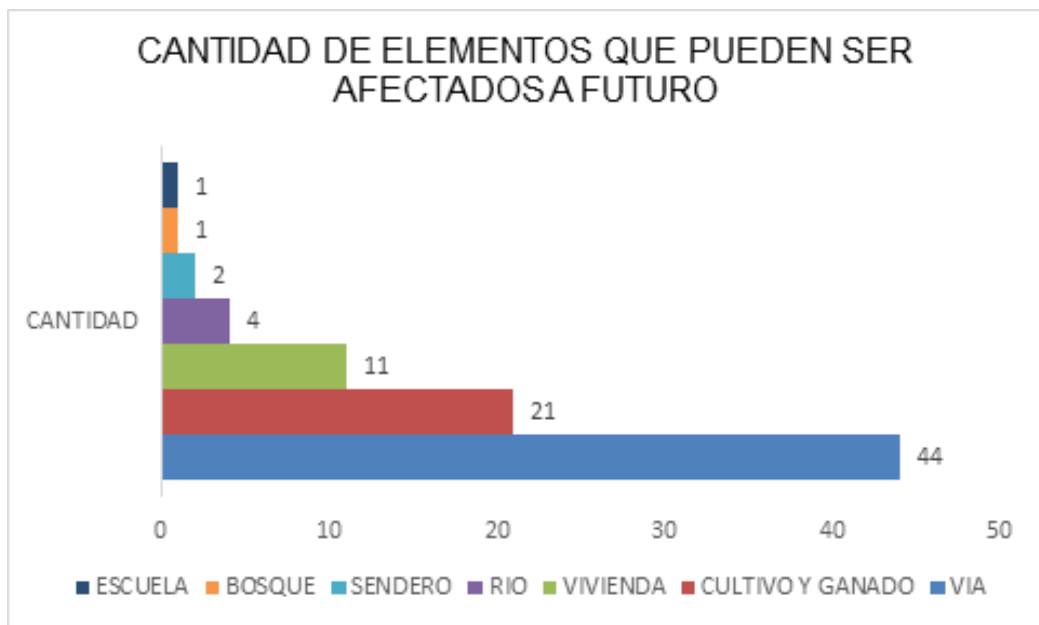


Grafico 6. Distribución de procesos sobre la Formación Aguardiente



**7.2.3 Contraste de elementos posibles a afectar si acontece un nuevo movimiento en masa.** Durante el desenlace de los distintos fenómenos varias infraestructuras y áreas naturales fueron afectadas, pero así mismo como se tienen en cuenta los elementos ya afectados, es necesario prever que a futuro nuevos fenómenos se pueden desarrollar sobre estas zonas ya inestables. Con las siguientes graficas se postula las cantidades y porcentajes que pueden ser afectados más adelante; encabeza la lista las vías con el 52%, le sigue los cultivos y ganado con el 25%, las viviendas con el 13% siendo un porcentaje alto y así sucesivamente como lo muestran las **grafica 7 y 8**. Solo se presenta un caso que involucra una escuela la cual debe ser evacuada.

Grafico 7. Cantidad de elementos posibles a afectar.



**7.2.4 Relación entre los procesos inventariados y el uso del suelo.** Se presenta la distribución de los procesos inventariados en la **Grafica 9** con relación al uso del suelo del lugar donde acontecieron los movimiento en masa; se puede deducir que los fenómenos en gran porcentaje están asociados a terrenos deforestados con un 40%, a los cortes de las vías 28%, en menor porcentaje se

encuentran los procesos en potreros con sectores agrícolas (17%) o ganaderos (13%) y por último las viviendas que tienen el menor índice con un 2%. La deforestación y presencia de pastos, se debe a la modificación antrópica realizada para el cultivo, pastoreo de ganado y la construcción de vías de comunicación.

Grafico 8. Porcentaje de elementos posibles a afectar.

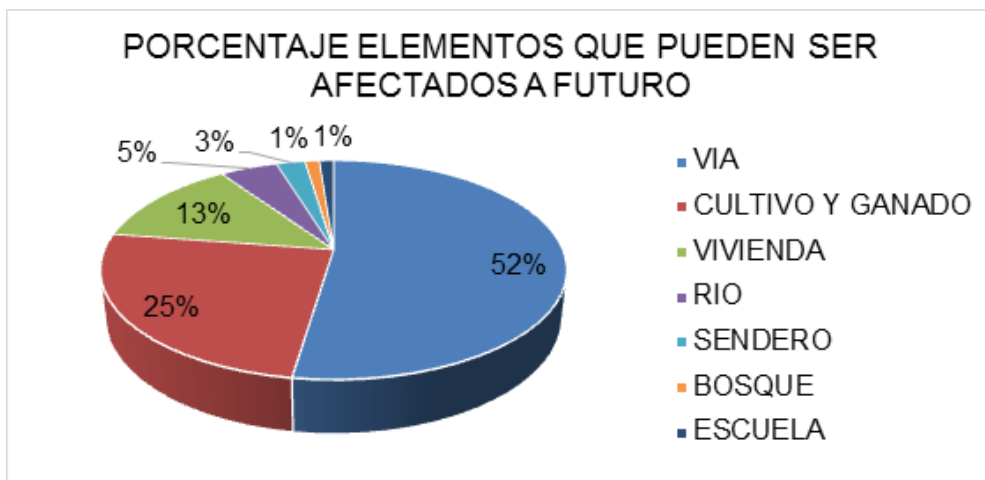
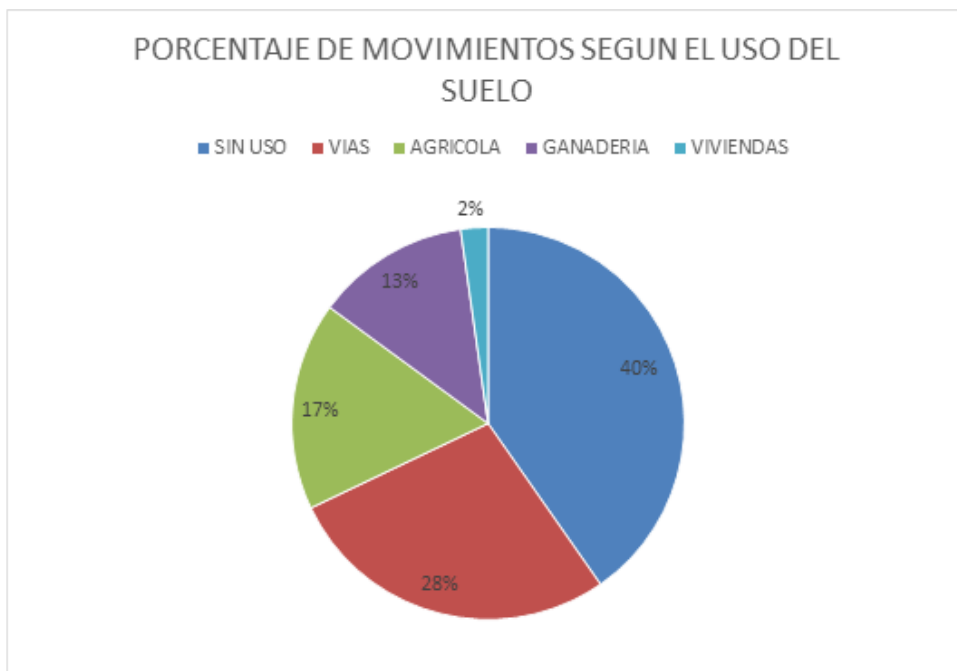


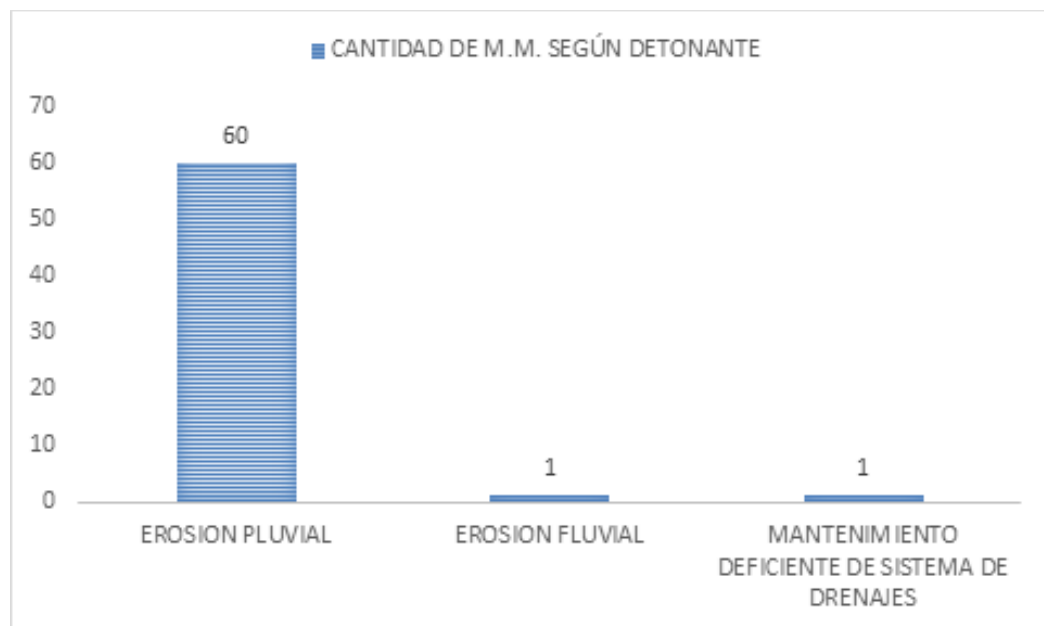
Grafico 9. Porcentaje de movimientos según el uso del suelo.



Se diferencia con la estadística de elementos posibles a afectar, en que en el caso del uso del suelo, los porcentajes obtenidos se refieren a los elementos ya afectados, mientras que en el primero nombrado muestra los posibles elementos en riesgo para un futuro cercano.

**7.2.5 Relación entre los procesos inventariados y los agentes detonantes.** En la **grafica 10** se estima la distribución de los procesos según el agente detonante, con los datos tabulados se infiere que la totalidad de los movimientos en masa fueron provocados por temporadas intensas de lluvia. Se han dado casos en los que la erosión fluvial y el mantenimiento deficiente de sistemas de drenaje han colaborado con la reacción de estos fenómeno pero estos se presentan acompañados con la erosión pluvial antes mencionada.

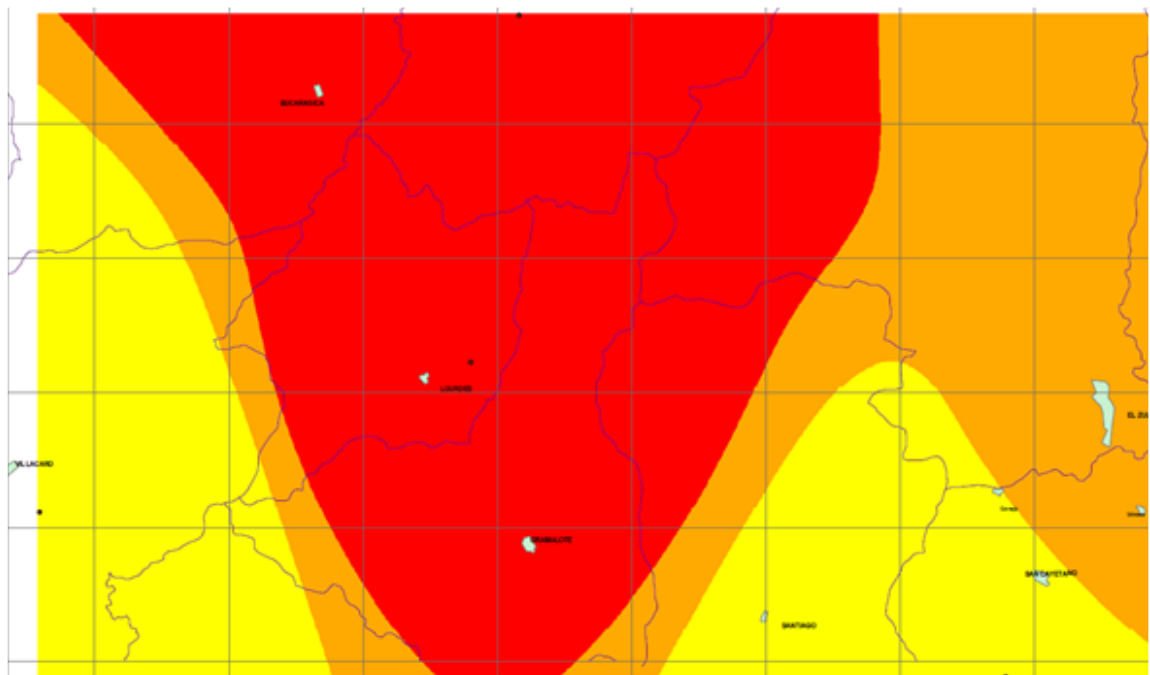
Grafico 10. Cantidad de procesos según el agente detonante.



Debido al control de las precipitaciones, se procedió a la compra de datos pluviométricos en el IDEAM. A partir de esta información se realizó un mapa de precipitaciones para el periodo de tiempo comprendido entre 1995 hasta el 2012

utilizando la herramienta de interpolación IDW en ArcGIS y una clasificación de las precipitaciones realizadas manualmente debido a que la variación en los rangos establecidos por la Organización Meteorológica Mundial, no muestra alguna diferencia visible para los datos utilizados. Se arrojan unas zonas delimitadas que muestran la intensidad de la precipitación anual (**Figura 25**). Hacia el centro de la plancha con una tendencia oeste se ubican gran porcentaje de movimientos en masa, coincidiendo con la zona de mayores precipitaciones, ratificando así a la lluvia como uno de los factores decisivos a la hora del desenlace de estos fenómenos.

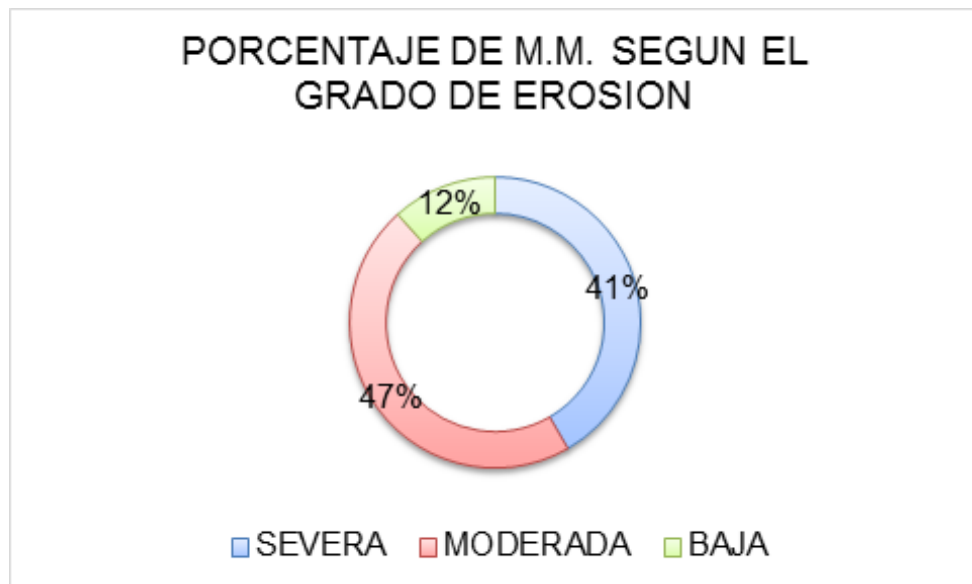
Figura 25. Mapa de precipitaciones entre los años 1995 y 2012, en la plancha 87 – Sardinata a escala 1:100.000.



Se puede resumir, que en los alrededores de Lourdes, Gramalote y parte de Bucarasica que abarcan las planchas 87-III-C, 87-III-D y 87-III-B, las precipitaciones tienden a ser moderadas, comparando con el promedio del área analizada.

**7.2.6 Distribución de densidad de movimientos en masa inventariados según el estado de erosión.** La erosión se define como el transporte del suelo o roca producido por distintos procesos en la superficie terrestre. Para los fenómenos inventariados se presentó un 47 % en la intensidad de erosión moderada, 41% de casos para una alta erosión y por último 12% de intensidad baja. En las **gráfica 11** se muestran las proporciones.

Grafico 11. Porcentaje de movimientos en masa según el grado de erosión.



Las cifras vistas indican que un gran porcentaje de los movimientos en masa ocurridos tiempo atrás, aun continúan activos por diferentes motivos, como prueba de ello está la ausencia de vegetación y la reptación del suelo con plantas inclinadas (**Figura 26**).

Figura 26. Movimiento en masa localizado en la Vereda Jácome en cercanías del Municipio de Gramalote. Se observan plantas inclinadas por un movimiento en masa que aun se encuentra activo. Orientación de la foto: N5E



### **7.2.7 Relación entre los procesos inventariados y la pendiente del terreno.**

Dentro de los criterios que se valoraron a la hora de inventariar los procesos, se encuentra el grado de la pendiente implicada en cada movimiento en masa. Con base en este criterio, se realizó dentro de las observaciones anotadas en el inventario, la respectiva clasificación de la geoforma dependiendo del grado de inclinación de cada superficie, antes de que ocurriera el fenómeno de interés, complementado con un mapa de pendientes generado en ArcGIS 10.1, se pueden evidenciar una preferencia del desarrollo de los movimientos en masa para ciertos grados de pendientes explicadas a continuación (**Grafica 12**):

Para una pendiente muy alta del total de movimientos en masa recolectados se tiene un porcentaje del 65%, en el caso de de las altas pendientes se observa un 24%, luego sobre pendientes moderadas se desenlazan el 10% de los procesos y en pendientes suaves hay 1% de los procesos.

Esto indica que los movimientos en masa se relacionan directamente con pendientes altas y muy altas.

Grafico 12. Porcentaje de movimiento en masa según la pendiente asociada

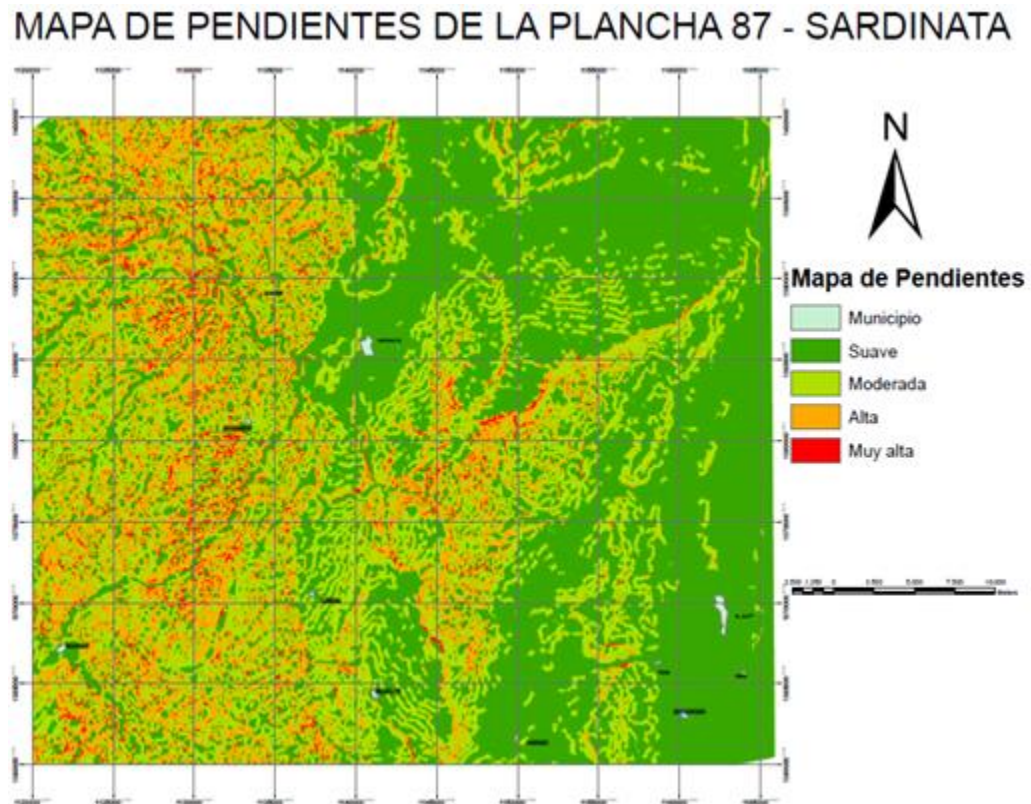


El mapa generado por ArcGIS (**Figura 27**) se diseña por medio de la herramienta Slope, con coordenadas de origen Bogotá y datum Bogotá. La clasificación de las pendientes se hizo según el ITC de Holanda (Facultad de Ciencia de Geología e información y Observación de la tierra) para la que se toman los rangos de las pendientes según los grados (Tabla 2).

Tabla 2 Clasificación para el mapa de pendientes.

TIPO DE PENDIENTE	GRADO DE PENDIENTES	COLORES
SUAVE	0-15°	Verde oscuro
MODERADA	15-30°	Verde claro
ALTA	30-45°	Amarillo
MUY ALTA	> 45°	Rojo

Figura 27. Mapa de pendientes de la plancha 87 – Sardinata a escala 1:100000.



Se distingue un predominio total de pendientes suaves hacia el lado este de la plancha 87- Sardinata, esto abarca los municipios de Sardinata, Santiago, Cornejo, San Cayetano, Urimaco y El Zulia; esta característica de las geoformas se atribuyen a las unidades aflorantes que en su mayoría son unidades sedimentarias jóvenes. En la parte oeste de la plancha 87 – Sardinata, hay variaciones de pendientes de grado alto a muy alto, con pocas pendientes suaves que aparecen intermitentemente; comprendiendo los municipios de Villa Caro, Lourdes, Gramalote, Bucarasica y La Victoria, este comportamiento geomorfológico se debe a la aparición de la cordillera oriental con Rocas metamórficas e ígneas predominando sobre las secuencias sedimentarias.

**7.2.8 Movimientos en masa según su importancia.** La importancia del evento, se define como una calificación subjetiva de la severidad de los efectos adversos

causados por el movimiento en masa; Fell et al. (2005) propone tres medidas cualitativas:

**Alta.** Estructuras completamente destruidas o daño extensivo, en donde se requieren grandes obras de ingeniería para la estabilización o reparación.

**Media.** Daño moderado a algunas estructuras, o necesidad de grandes obras de estabilización

**Baja.** Poco o limitado daño a estructuras. Parte del sitio puede requerir algunos trabajos menores para su estabilización.

En la **Grafica 13** se muestran todos los eventos, con el número de plancha 1:25.000 correspondiente y su clasificación según la importancia.

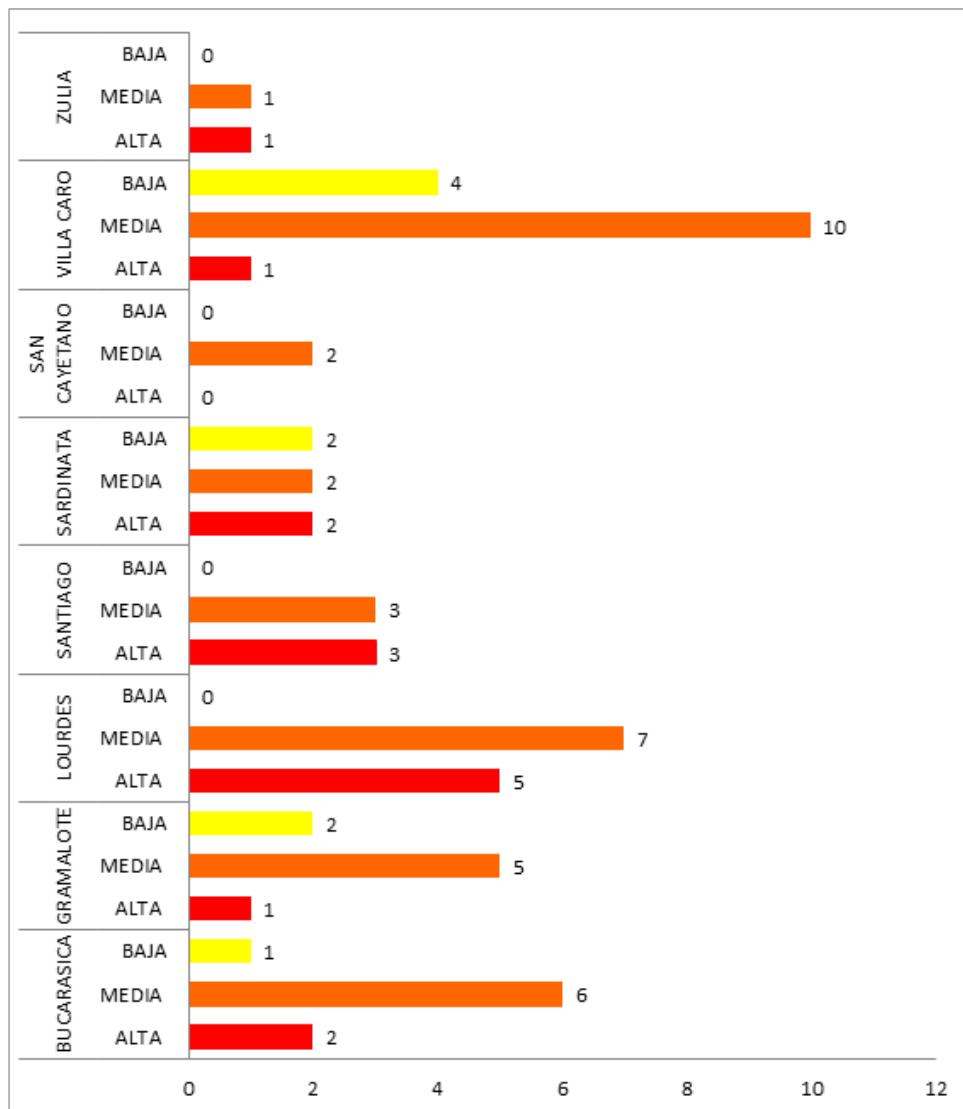
En el grafico estadístico, se identifica una mayor ocurrencia de movimientos en masa en las Planchas 87-III-C y 87-III-D que comprenden a la jurisdicción de los municipios de Villa Caro y Gramalote respectivamente, donde una cantidad importante se denominan de media importancia. Los movimientos en masa recolectados se presentan preferencialmente sobre las vías que comunican al municipio de Villa Caro con el corregimiento de Nazaret y la vía que comunica a Gramalote con Lourdes.

En la plancha 87-III-B donde se ubica el municipio de Lourdes dominan los movimientos en masa de alta importancia con 4 debido a la amenaza que representa para las viviendas ubicadas cerca de los fenómenos compilados, como ocurre en cercanías del municipio (**Figura 37**).

Se registran sobre las planchas 87-I-A, 87-I-D (jurisdicción del municipio de Sardinata), 87-IV-C y 87-IV-D una mínima cantidad de eventos que varían desde

uno hasta dos, donde la amenaza de movimientos en masa es baja debido a la poca presencia de asentamientos; solo hay un caso que llama la atención debido a su gran tamaño ubicado sobre la quebrada San José que corta la vía que comunica al municipio de Sardinata con el Zulia.

Grafico 13. Movimientos en masa ubicados según la plancha 1:25000 afectada y su importancia, en plancha 87- Sardinata.



Con los anteriores datos se tiene que para las áreas pertenecientes a los municipios de Lourdes, Villa Caro, Bucarasica y Gramalote, hay una facilidad en el desenlace de los movimientos en masa, mientras en las áreas que comprenden a los municipios del Zulia, Sardinata, San Cayetano y Santiago ocurre lo contrario.

**7.2.9 Movimientos asociados a lineamientos y fallas.** Por último, dentro de los condicionantes están presentes las estructuras (lineamientos y fallas) y unidades geológicas que se consideran elementos que colaboran también al desenlace de los movimientos en masa, sin dejar de lado la participación del hombre con las obras de infraestructura y la modificación constante del entorno.

Durante la investigación se realizó un mapa (ANEXO 3), el cual está constituido por la ubicación espacial de los movimientos en masa agregando a cada punto el atributo de importancia y las estructuras geológicas presentes (lineamientos y fallas).

Así como lo muestra la **Figura 28** para el sector oeste de la plancha 87 – Sardinata, se ubican la mayoría de movimientos en masa de importancia alta con una tendencia lineal de norte a sur, esto se debe al sistema de falla de las mercedes conjunto a unas fallas menores que están interconectadas; cercana al sistema de falla de las mercedes aparece la falla de gramalote donde aparecen dos movimientos en masa de alta y mediana importancia, otros dos puntos se muestran cercanos a esta falla.

Al Sur-Oeste de la plancha se ubican un significativo número de movimientos en masa de importancia media y baja que se ajustan a lineamientos. Hay presencia de puntos ubicados aleatoriamente en otros sectores de la plancha.

Figura 28. Mapa de inventarios de movimientos en masa según su importancia junto con los lineamientos y fallas presentes. Se observan puntos aleatorios, que no están relacionados con estructuras (ovalo morado). Plancha 87 a escala 1:100.000 modificada de del IGAC, 2006.

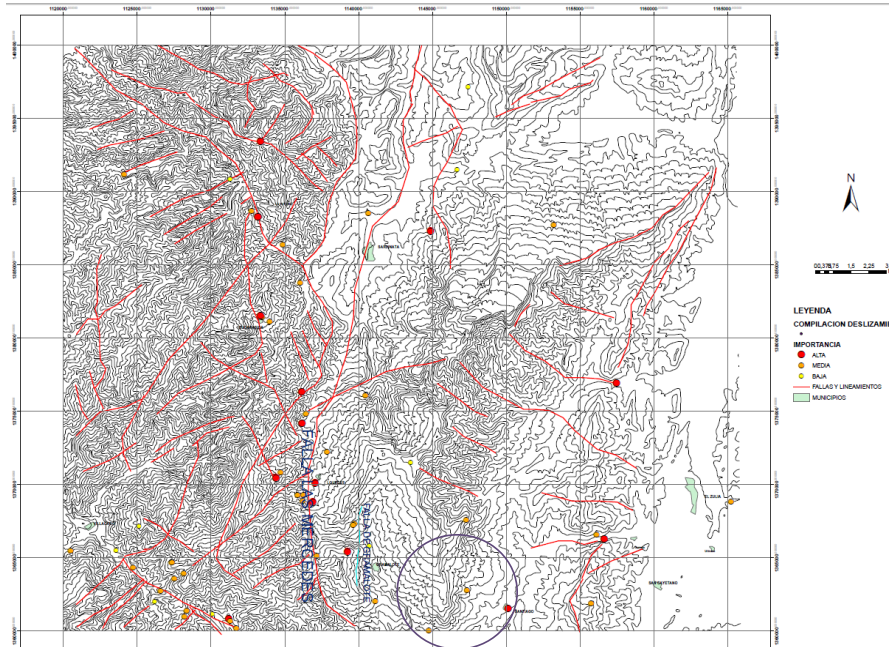
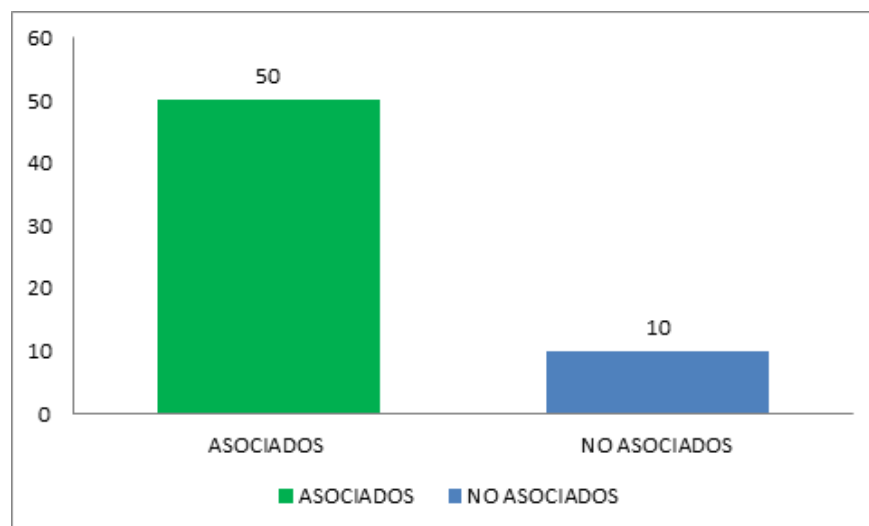


Gráfico 14. Movimientos asociados a lineamientos y fallas de la plancha 87 - Sardinata



En la **grafica 14** se muestran los procesos de la plancha 87- Sardinata, asociados a fallas y lineamientos. Las cifras muestran que los movimientos en masa están estrechamente ligados a estructuras.

## 8. ANALISIS DE SECTORES MÁS AFECTADOS

Se realizó un breve resumen de los sectores más afectados, que se muestra a continuación.

### 8.1 CARMEN DE NAZARETH

En la población de Carmen de Nazaret sobre la plancha 87-III-C para la fecha del 2 de enero del 2010 se presenta un movimiento en masa que actúa afectando dos casas dejándolas inhabitables (**Figura 29**), el subtipo de movimientos es fijado como rotacional en primer lugar, sucediendo luego un deslizamiento traslacional en cuña, estos acontecen sobre una litología metamórfica (Ortogneis) muy meteorizada, este desplazamiento perturba una área de aproximadamente 3200 m<sup>2</sup>, donde se alcanza a presentar ondulación y escalonamiento severo, con una dirección de movimiento de S80W.

Figura 29. Movimiento en masa rotacional, ubicado en Carmen de Nazareth que afectó dos viviendas, se percibe una reconstrucción de las mismas en el mismo lugar, con la línea roja se demarca la corona y la línea azul muestra la dirección del movimiento. Orientación fotografía: N57E



En el mismo corregimiento se presenta otro movimiento en masa que aun no ha afectado severamente a la población, pero debido a su ubicación se considera un riesgo inminente para la vida e infraestructuras de sus habitantes (**Figura 30**). Se caracteriza por ser un deslizamiento traslacional que afecta suelo y rocas de la unidad Ortogneis con una extensión de aproximadamente 2240 metros cuadrados.

Figura 30. Movimiento en masa en el corregimiento de Carmen de Nazareth, con una vista de perfil del mismo, la corona no es visible en su totalidad mientras la dirección del movimiento de S15E bordea la pendiente de la montaña. Orientación de la fotografía: N50E



## 8.2 SECTOR EL OSO

En la vía que comunica el municipio el Gramalote con la vereda el Oso, se presenta un movimiento en masa el cual afecta gravemente una vía

imposibilitando el tránsito normal de los automóviles y camperos en épocas de fuerte invierno, aflora una litología metamórfica compuesta de filitas fisiles de la Formación Silgará. La zona afectada es bastante extensa presentándose deslizamientos traslacionales, flujos de detritos y caídas de roca. El área total afectada es de aproximadamente 22500 m<sup>2</sup>. Se observa presencia constante de agua, lo que perjudica aun más la estabilidad, la erosión tiene un estado severo con aparición de cárcavas y surcos (**Figura 31**).

Figura 31. Movimiento en masa sobre la vía que comunica al municipio de Villa Caro con la vereda el oso, se visualiza la vía en muy mal estado y la ausencia total de vegetación. Orientación de la fotografía: S70°E



### 8.3 MUNICIPIO DE GRAMALOTE Y SUS ALREDEDORES

En el municipio de Gramalote, a mediados de diciembre del 2010 ocurre un movimiento en masa de estilo compuesto, que afecta un total de 2,41 km<sup>2</sup>, este se desenlaza durante 2 semanas, con subtipos de movimientos como flujos de detritos, bloques y tierras (suelo meteorizado), además de un deslizamiento rotacional que provocó el desarrollo del resto de subtipos de movimientos. El estilo de movimiento es múltiple. Actualmente el terreno se mueve en temporadas de lluvia intensas.

Figura 32. Panorámica de movimiento en masa de estilo compuesto, que afectó el municipio de Gramalote. Se delimita la corona y la Falla de Gramalote. Orientación de la fotografía: SE



La dirección del movimiento hacia la corona es de S6W mientras hacia la mitad y pie del fenómeno cambia a S77E. El evento es causado por infiltraciones de aguas bajo la unidad afectada (Formación la Luna), la cual por ser dúctil se mueve con facilidad afectando la zona (**Figura 32**).

En el presente, aun hay viviendas habitadas (**Figura 33**) que son amenazadas por el terreno inestable, que en temporadas de lluvias tiende a ser afectado.

Figura 33. Viviendas habitadas dentro del casco urbano de Gramalote (ovalo de color amarillo, que se ven amenazadas por movimientos en masa que pueden ser generados en época invernal. Orientación de la fotografía: N25E



En la plancha 87-III-D, para el año 2012, en cercanías al destruido municipio de Gramalote, por la vía que comunica a la vereda el Cedral con la vereda el triunfo, exactamente en la quebrada el Zancudo, se presentan varios movimientos en

masa, los cuales inician con deslizamientos traslacionales combinados con flujos de tierra, flujos de detritos y finalmente hay caída de rocas; estos fenómenos ocurren en un área que abarca 70000 m<sup>2</sup> aproximadamente, con erosión severa del terreno y aparición de surcos y hondonadas. Estos movimientos amenazan con destruir cultivos y viviendas aledañas que aun no han sido evacuadas, se recalca la cercanía de la quebrada el Zancudo, la cual colabora como condicionante de un nuevo movimiento, debido a la constante meteorización que debilita la roca y la transporta. Por otra parte la roca expuesta presenta un metamorfismo de contacto causado por una falla, que facilita la disgregación del material.

Figura 34. Movimiento en masa situado en la intersección de la vía que comunica a la vereda Jácome con la vereda el triunfo y la quebrada el Zancudo. La dirección de movimiento es N82E. Orientación de la fotografía: N60W.



Figura 35. Movimiento en masa situado en la intersección de la vía que comunica a la vereda Jácome con la vereda el triunfo y la quebrada el Zancudo. Orientación de la fotografía: N50E.



#### **8.4 MUNICIPIO DE BUCARASICA**

A trescientos metros del municipio de Bucarasica por la vía que conduce hacia Sardinata, sobre la plancha 87-I-C, hay presencia de la Unidad Ortogneis,

afectadas por un deslizamiento traslacional y caída de detritos, afectando un área aproximada de 18000 m<sup>2</sup>, que involucra suelo y roca. En la parte superior de la corona del deslizamiento está ubicada una vivienda que podría ser afectada debido al avance retrogresivo del deslizamiento (**Figura 36**).

Figura 36. Movimiento en masa a trescientos metros de Bucarasica, sobre la vía que comunica a este municipio con Sardinata. Se observa hacia la corona (indicada con la línea roja), la presencia de una vivienda amenazada por la ocurrencia de un nuevo movimiento en masa (ovalado amarillo); la dirección del movimiento es S10E. Orientación de la fotografía: S70W.



## 8.5 MUNICIPIO DE LOURDES

En cercanías del municipio de Lourdes (aproximadamente a 500 metros) por la carretera que comunica este municipio con Gramalote, ubicado en la plancha 87-

III-B, donde se presenta una secuencia sedimentaria que consta de Chert y Arcillolitas pertenecientes a la Formación la Luna, se presentan movimientos en masa conformados por un deslizamiento traslacional, caídas de roca y flujo de detritos. En **Figura 37** se muestra el fenómeno, donde el área total afectada abarca unos 100000 m<sup>2</sup>. Hacia el pie del deslizamiento emerge agua indicando la presencia de esta probablemente en la superficie de falla del movimiento. Estos movimientos en masa a futuro podrían obstruir la vía principal que comunica el municipio de Lourdes con Gramalote además de amenazar vidas por la presencia de una vivienda dentro del reciente fenómeno.

Figura 37. Movimiento en masa a 500 metros al oriente de la cabecera municipal de Lourdes, la corona es delineada con color rojo y la dirección de movimiento es S20E indicado con la flecha azul. Encerrado en un círculo se muestra una vivienda en peligro que se ubica en cercanías del pie (delineado de verde) del fenómeno, además, la vía principal que comunica los municipios de Lourdes y Gramalote amenaza con ser obstruida. Orientación de la fotografía: NS



## 8.6 SECTOR DEL IDEMA

En la plancha 87-I-A, sobre el sector del IDEMA (**Figura 38**) por la carretera terciaria que comunica a la Vereda con Sardinata, se presentan movimientos en masa conformados por eventos sucesivos de un deslizamiento traslacional, seguido por caída de detritos y flujo de detritos. El área total afectada es de 4000 m<sup>2</sup>. Que amenaza con afectar la vía terciaria que comunica la vereda con el exterior además de unas viviendas cercanas ubicadas a 30 metros del evento.

Figura 38. Movimiento en masa en la vereda del IDEMA. Hacia la corona está ubicada una vía terciaria destapada que comunica todas las fincas cercanas y a uno 50 metros se presentan varias viviendas. El movimiento tiene una dirección N55E (flecha azul). Orientación de la fotografía: S15W.



## 8.7 MUNICIPIO DE SANTIAGO

En la plancha, sobre la parte superior del casco urbano de Santiago se presenta un movimiento en masa de tipo deslizamiento rotacional, afectando un área de 500.000 m<sup>2</sup> que durante el 2011 afectó una escuela y varias viviendas, las cuales se encuentran abandonadas. Hoy día hacia la pata del talud y los lados del movimiento en masa se observan casas habitadas (**Figura 39**) que están amenazadas por un nuevo fenómeno de este tipo debido al comportamiento de la unidad presente que corresponde a la Formación Colon-Mito-Juan que se disgrega con facilidad. La dirección del movimiento es SW.

Figura 39. En parte alta del municipio de Santiago se presenta la corona del movimiento en masa (línea roja) que se desenlaza, afectando varias viviendas y una escuela. Orientación de la fotografía: SW



Figura 40. Deslizamiento rotacional que se encuentra amenazando las viviendas ubicadas hacia el pie del movimiento en masa (ovalo amarillo). Hay crecimiento de vegetación que colabora con la estabilidad del material afectado (Shale). Orientación de la fotografía: SW



## 8.8 QUEBRADA SAN JOSÉ

Por la carretera que conduce de Sardinata hacia el municipio del Zulia en la intersección de la quebrada San José se desenlazó en el 2010 un movimiento en masa (**Figura 41**) que obstruyó la vía, dejando incomunicados a los dos municipios durante varios días. Está compuesto de varios subtipos de movimientos como: Deslizamiento traslacional con caída de rocas hacia la corona, en parte media y baja del cuerpo ocurrieron flujos de tierra, roca y detritos que fueron provocados por la permanente presencia de agua. Este movimiento en

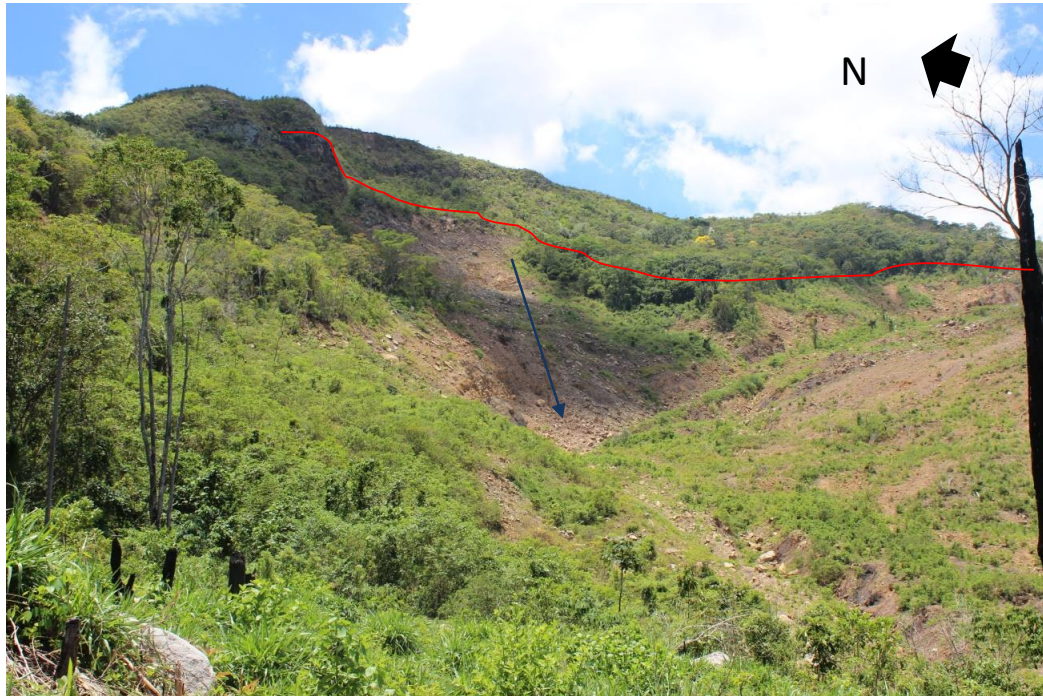
masa afectó la Formación Aguardiente, Capacho y la Luna, su dirección del movimiento es S30E.

Figura 41. Panorámica del flujo de detritos, rocas y tierras (entre las líneas amarillas) sobre la quebrada San José. La dirección del movimiento es S30E (flecha azul), en la vía principal (línea roja) aun se observan los vestigios del movimiento en masa. Orientación de la fotografía: N52W



Hacia la parte de la corona por la escasa vegetación y constante presencia de agua, es posible el desarrollo de un nuevo movimiento en masa que obstruiría de nuevo la vía Sardinata – Cúcuta, además de afectar las fincas cercanas (**Figura 42**).

Figura 42. Vista de la corona (línea roja) del movimiento en masa ubicado en la quebrada San José. El uso del suelo más afectado hacia la corona es de tipo agrícola y ganadero. Orientación de la fotografía: N70W.



## 8.9 SECTORES MAS AFECTADOS POR MUNICIPIO

Según el análisis de la base de datos, los municipios más afectados por los movimientos en masa son: Lourdes, Villa Caro, Bucarasica, Gramalote, y la ciudad de Cúcuta (ANEXO 6 Y 8).

**8.9.1 Lourdes.** En la jurisdicción de Lourdes, se presentan 12 movimientos en masa mayoritariamente de tipo deslizamiento traslacional, ligados a la Falla de Las Mercedes, donde se presentan las Unidad Ortogneis, Gneis de Bucaramanga, la Formación Aguardiente y la Formación la Luna; estos fenómenos se distribuyen por las vías que del municipio de Lourdes comunican a Gramalote, Sardinata, las veredas del Vesubio y Volcanes. Aun se presentan amenazas de nuevos

movimientos en masa que pueden obstruir vías y destruir viviendas, debido al sobrepastoreo, deforestación, cortes de las vías y precipitaciones.

Un punto de alta importancia por la presencia de una vivienda hacia el pie del movimiento en masa, está ubicado sobre la carretera que comunica al municipio de Lourdes con Gramalote (a 500 metros de Lourdes), con coordenadas de origen Bogotá y Datum Bogotá: 1370100 (ESTE) y 1137047 (NORTE).

**8.9.2 Villa Caro.** En la Jurisdicción del municipio de Villa Caro, se presentan 15 movimientos en masa mayoritariamente de tipo deslizamiento traslacional, ligados a lineamientos y fallas (Las Mercedes) y a las unidades como el Ortogneis y la Formación Silgará; estos fenómenos se distribuyen por las vías que del municipio de Villa Caro conducen hacia Gramalote, las veredas el Oso y la Alianza. Aun se presentan amenazas de nuevos movimientos en masa que pueden destruir viviendas, obstruir vías, causar la pérdida de ganado y represamientos de quebrada (Árbol Solo) y río (Sardinata); debido a la deforestación, corte de vías, sobrepastoreo, erosión fluvial y precipitaciones.

Se presentan tres puntos críticos:

Sobre el corregimiento de Carmen de Nazaret se tienen 2 movimientos en masa que a futuro pueden estar destruyendo viviendas. Con coordenadas de origen Bogotá y Datum Bogotá: 1360840 (ESTE) y 1131192 (NORTE), 1360652 (ESTE) y 1131303 (NORTE).

El tercer punto, se ubica sobre la carretera que comunica a Villa Caro con la vereda el Oso, donde hay constante tránsito de vehiculos y personas. Con coordenadas de origen Bogotá y Datum Bogotá: 1365448 (ESTE) y 1120482 (NORTE).

**8.9.3 Bucarasica.** En la jurisdicción del municipio de Bucarasica, se presentan 9 movimientos en masa principalmente traslacionales, con posterior flujos y caída de detritos, con algunos casos de reptación y volcamiento; están ligados a estructuras (lineamientos y fallas) y a las Unidad Ortogneis, Neis de Bucaramanga y Formación Aguardiente.; estos fenómenos se distribuyen por las vías que del municipio de Bucarasica conducen hacia Sardinata y la vereda el IDEMA. Aun se presentan amenazas de nuevos movimientos en masa que pueden obstruir vías y destruir viviendas; debido a la deforestación, pendientes muy altas, corte de vías, sobre carga del talud, unidades muy meteorizadas y las precipitaciones.

Se presentan 2 puntos de alta importancia:

El primero ubicado en la salida del municipio de Bucarasica hacia Sardinata (aproximadamente a 300 metros), donde se encuentra una vivienda ubicada en la corona de un deslizamiento traslacional. Con coordenadas de origen Bogotá y Datum Bogotá: 1381535 (ESTE) y 1133345 (NORTE).

El segundo punto está ubicado sobre la vía que comunica a San Isidro con la vereda el Oso, donde se encuentran varias viviendas y la carretera que comunica a toda la vereda con el exterior en peligro de colapsar. Con coordenadas de origen Bogotá y Datum Bogotá: 1393386 (ESTE) y 1133348 (NORTE).

**8.9.4 Gramalote.** En la jurisdicción del municipio de Gramalote, se presentan 8 movimientos en masa principalmente deslizamientos traslacionales con una aparición de deslizamiento rotacional, ligados a la Falla de Gramalote y las unidades como la Formación Aguardiente y Capacho y el Ortogneis; estos fenómenos se distribuyen por la vías que del municipio de Gramalote conducen hacia Villa Caro, Lourdes y las veredas Jácome y el Triunfo. Aun se presentan amenazas de nuevos movimientos en masa que pueden obstruir vías y destruir

viviendas; a causa de la deforestación, la filtración de aguas, sobrecarga de taludes, corte de vías y precipitaciones.

Se presentan dos movimientos en masa de alta importancia:

El primero ubicado en el casco urbano de Gramalote que se extiende desde la vereda Jácome hasta la quebrada la Volcana, actualmente el terreno se sigue moviendo para épocas invernales.

Sobre la intersección de la quebrada el Zancudo con la vía que comunica a la vereda Jácome con la vereda el Triunfo se manifiesta otro caso; con coordenadas: 136519 (ESTE) y 1137154 (NORTE).

## 9. CONCLUSIONES

Como resultado del trabajo de campo se conformó una base de datos en Microsoft Excel que reúne toda la información recolectada (ANEXO 2) permitiendo realizar consultas, además de facilitar el tratamiento estadístico.

Los factores que más influyen en la ocurrencia de los movimientos en masa inventariados son:

- Las estructuras geológicas (lineamientos y fallas)
- Las unidades geológicas (litología)
- La morfología abrupta del terreno (pendientes)
- Las fuertes precipitaciones invernales
- Las acciones antrópicas relacionadas con la apertura de vías y el mal uso del suelo (deforestación, sobrepastoreo, mal manejo de las aguas de escorrentía, etc).

Se introdujeron 60 sitios inventariados en el aplicativo del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), esta herramienta permite al Servicio Geológico Colombiano conocer donde se presentan los principales movimientos en masa, y según el grado de importancia es una herramienta útil para las alcaldías de los diferentes municipios afectados, ya que les sirve para implementar los planes de contingencia y las diferentes actividades que deben realizar en la gestión del riesgo.

Según los análisis realizados, los municipios más afectados por los movimientos en masa son: Lourdes (12 casos), Villa Caro (15 casos), Bucarasica (9 casos), Gramalote (8 casos), y el casco urbano del municipio de Santiago que ha sido afectado al igual que Gramalote, con un movimiento en masa de gran tamaño. Los sitios más afectados se encuentran en las márgenes del río Sardinata (municipio de Sardinata) y Peralonso (en jurisdicción de municipios de Santiago y San Cayetano), así como las quebradas la Guayabera (municipio de Villa Caro), la Calichosa (municipio de Lourdes) y San José (municipio de Sardinata), que han venido siendo afectadas por procesos naturales, de tal manera que su magnitud amenaza con desestabilizar las laderas circundantes, previéndose potenciales movimientos en masa y represamientos, eventos que llegarían a afectar predios, cultivos y viviendas en el área potencial de inundación e inestabilidad. (quebradas y ríos a que municipios pertenecen)

Los agrietamientos y movimientos en masa que afectaron el casco urbano del municipio de Gramalote, se han generado debido a la morfología abrupta a moderadamente abrupta del terreno, a la gran extensión de depósitos de coluvión que cubren la zona, los cuales son bastante sueltos y permeables, permitiendo la infiltración de las aguas provenientes de las partes altas, las cuales se acumulan y afloran en esta zona, ayudando al movimiento del terreno.

La gran mayoría de los movimientos en masa, se presentan sobre las Unidades Ortogneis (27 casos) y Neis de Bucaramanga (8 casos) ubicada al oeste de la plancha 87, donde se presenta la Falla las Mercedes de orientación NS, la cual delimita el contacto entre el Ortoneis y la Formación Aguardiente que predomina en el sector central de la plancha, presentándose 10 movimientos en masa. La Formación la Luna hacia el sur de la plancha, también es afectada por la Falla Gramalote, siendo el principal movimiento en masa el que destruyó el municipio de Gramalote.

## 10. RECOMENDACIONES

El inventario de movimientos en masa y demás información plasmada en el presente documento, se convierte en una herramienta útil para los diferentes municipios afectados y se recomienda que sea tenido en cuenta para la actualización y manejo de los esquemas de ordenamiento territorial.

Se recomienda que los Concejos Municipales para la Gestión del Riesgo de los municipios de Lourdes, Villa Caro, Bucarasica y Gramalote, con base en el inventario de los movimientos en masa realicen estudios geológicos, geotécnicos de los diferentes sectores, para que puedan realizar obras de prevención y mitigación, disminuyendo así la vulnerabilidad de las zonas afectadas y según su criterio determinar, si algunos de los habitantes afectados por la ocurrencia de los movimientos en masa deban ser evacuados y reubicados.

Una de las causas principales que ha acelerado la ocurrencia de los agrietamientos y movimientos en masa, se relaciona con la actividad antrópica que tiene que ver con el uso inapropiado, entre las que está la gran deforestación, el sobrepastoreo que genera terracetas y el inapropiado manejo de las aguas de escorrentía, debido a la falta de implementación de un sistema de drenaje (cunetas, desniveles o bombeos y filtros) en las vías interveredales, muchas de las cuales se encuentran sin recebo. Según lo anterior se recomienda, concientizar a los habitantes de la zona para que mejoren el uso del suelo, en cuanto al manejo de las aguas, parar la deforestación e iniciar un plan de cultivos agroforestales.

También se recomienda la reforestación de las laderas del río Sardinata y Peralonso, además de las cuencas de las quebradas los Helechos (municipio de Gramalote) y Zancudo (vereda El Oso, municipio de Villa Caro), haciendo énfasis en los sitios afectados por los movimientos en masa. Para lo anterior se sugiere a las autoridades municipales, se contemple la posibilidad de adelantar un proyecto

de reforestación liderado por La Corporación Autónoma Regional de Norte de Santander (CORPONOR), en convenio con las diferentes alcaldías.

## BIBLIOGRAFÍA

ARISTIZABAL E., H. MARTÍNEZ & J. I. Vélez.: Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. Medellín, Junio del 2010. Rev. Acad. Colomb. Cienc.: Volumen XXXIV, número 131-junio de 2010.

ARISTIZÁBAL Edier y otros. Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el Valle de Aburrá, Colombia. Medellín, Julio 2011. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 15, p. 95-111.

CASTRO MARÍN Eduardo. Localización preliminar de amenazas en el departamento de Norte de Santander. Bucaramanga, 1992. INGEOMINAS.

CASTRO Marín Eduardo. y otros. Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa. Guía metodológica. Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogotá, 2001.

DEL RIO Alejandro. Reconocimiento geológico de la zona de deslizamientos en el acueducto de Cúcuta. Cúcuta, 1943. INGEOMINAS.

INGEOMINAS, SUBDIRECCIÓN DE AMENAZAS GEOLÓGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL. Informe final sobre el inventario de procesos morfodinámicos del sector de los cerros de Cali. Bogotá, Diciembre del 2005. INGEOMINAS.

INGEOMINAS. Memoria del cuadrángulo G-13 Cúcuta, 1982. P. 3 – 7.

LEYVA Omar, CARRILLO Edgar. Informe preliminar del estudio de prefactibilidad de sitios para la reubicación del casco urbano del municipio de gramalote, departamento de Norte de Santander. Bogotá D.C., 24 de Junio del 2011. INGEOMINAS.

MENDOZA Hernando. Deslizamiento en vereda el zumbador, municipio de Gramalote Norte de Santander. Bucaramanga, 1988. INGEMONINAS.

NARVAEZ CHICA Diego F. Análisis de la lluvia como elemento detonante en la ocurrencia de movimientos en masa en las comunas atardeceres y macarena sector occidental de la ciudad de Manizales. Manizales, 2007. Trabajo de grado de maestría (Medio ambiente y desarrollo). Universidad Nacional de Colombia.

NOTESTEIN B. Frank, Hubman W. Carl y James W. Bowler (1944). Boletín de la sociedad geológica de América. Volumen 55 No. PP.1.165-1.216.

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.

RUIZ PEÑA Gloria Lucia y García Núñez Jesús Rafael. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de las laderas occidentales de barranquilla, departamento del atlántico. Bogotá, Septiembre de 2011. INGEOMINAS.

TOUSSAINT FRANÇOIS Jean. Evolución Geológica de Colombia. Bogotá D.C., Bogotá D.C., 1993. Universidad Nacional de Colombia.

VARGAS CUERVO Germán. El deslizamiento del Barrio Tucunaré, Cúcuta Norte de Santander. Bucaramanga, 1989. INGEOMINAS.