

**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO
APLICADO A SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN UN
ÁREA COMPRENDIDA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE SAN JOSÉ DE
MIRANDA, ENCISO Y CAPITANEJO**

**ANA ALEXANDRA CORREA CRUZ
ANDRÉS FELIPE BERMÚDEZ PINEDA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2016

**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO
APLICADO A SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN UN
ÁREA COMPRENDIDA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE SAN JOSÉ DE
MIRANDA, ENCISO Y CAPITANEJO**

**ANA ALEXANDRA CORREA CRUZ
ANDRÉS FELIPE BERMÚDEZ PINEDA**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Geólogo(a)**

**Director:
JOAQUÍN ANDRES VALENCIA ORTIZ
Geólogo**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

ANA

DEDICO ESTE LOGRO A MIS VIEJOS OLGA CORREA Y SILVERIO CORREA POR SU CARIÑO Y APOYO INCONDICIONAL. A LAS PERSONAS DE MI FAMILIA QUE SIEMPRE CREYERON EN MI Y CONTRIBUYERON A QUE ESTE SUEÑO SE HICIERA REALIDAD.

FELIPE

A DIOS, MI GUIA Y SUSTENTO DURANTE ESTA ETAPA DE MI VIDA.

DEDICO CON TODO EL CORAZÓN ESTE TRIUNFO A MIS ABUELOS JAIME PINEDA Y BLANCA PRADA, MI MADRE SANDRA IBETH PINEDA PRADA; QUIENES HAN SIDO EL MOTOR DE MI VIDA, ME HAN BRINDADO APOYO INCONDICIONAL Y AMOR INIGUALABLE. ESTO ES POR USTEDES Y PARA USTEDES.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios por darnos la fuerza cada mañana para levantarnos a cumplir nuestro sueño y la sabiduría para llevar este trabajo a feliz término.

A nuestra familia por hacer esto posible, ser nuestra motivación y acompañarnos durante este proceso.

A nuestros compañeros y amigos, Luis Arévalo, Wilmer Cadena, Santiago Pimiento, Cristian Rangel, Camila Báez, Daniela Torres, Camila Lima, Paola Liévano, Leonardo Daza, Mónica Hernández, Eduardo Machuca quienes nos aportaron sus conocimientos, apoyo y compañía a lo largo de esta etapa; y a todos quienes hemos tenido el gusto de conocer.

A los Geólogos Joaquín Valencia y Jorge Chaparro por su dedicación y compromiso en la dirección de este trabajo de investigación.

A la Universidad Industrial de Santander, a la escuela de Geología por habernos acogido en sus aulas académicas, a los profesores por los conocimientos suministrados en pro de nuestro desarrollo académico y personal.

Finalmente agradecemos a todas las personas que de una u otra manera han aportado su granito de arena durante toda nuestra carrera profesional.

¡Muchas gracias a todos!

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	24
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
1.1 OBJETIVOS.....	27
1.1.1 Objetivo General.....	27
1.1.2 Objetivos Específicos	27
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	28
1.3 ANTECEDENTES.....	28
2. GENERALIDADES	33
2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	33
2.2 CLIMATOLOGÍA.....	34
3. METODOLOGÍA	36
4. INSUMOS.....	41
4.1 INSUMOS BÁSICOS.	41
4.1.1 Modelo de elevación digital.	41
4.1.2 Mapa de sombras.....	42
4.1.3 Mapa de pendientes.	42
4.2 INSUMOS TEMÁTICOS.....	42
4.2.1 Mapa geológico escala 1:100.000:.....	42
4.2.2 Mapa geomorfológico.	43
4.2.2.1 Mapa Morfogénesis:.....	43
4.2.2.2 Mapa morfometría.....	43

4.2.2.3 Mapa morfodinámica	43
4.2.3 Insumos Secundarios	43
5. MARCO GEOLÓGICO	44
5.1 ESTRATIGRAFÍA	44
5.1.1 Devónico.....	45
5.1.2 Jurásico.....	46
5.1.3 Cretácico.....	46
5.1.5 Depósitos Cuaternarios.....	58
5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	61
6. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES PARA EL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD	66
6.1 GEOLOGÍA.....	66
6.1.1 Densidad de fracturamiento.....	67
6.1.2 Fabrica/estructura.	67
6.1.3 Resistencia	69
6.1.4 Depósitos.....	70
6.2 GEOMORFOLOGÍA	73
6.2.1 Morfogénesis.....	74
6.2.1.1 Descripción de Unidades Morfogenéticas	75
6.2.2 Morfometría.	116
6.2.2.1 Mapa de pendientes	117
6.2.2.2 Mapa de rugosidad:	118
6.2.2.3 Mapa Acuenca:.....	119
6.2.3 Morfodinámica:	119
6.2.3.1 Índice de relieve relativo (RR):.....	120
6.2.3.2 Inclinación de la ladera (IL):	121
6.2.3.3 Combinación del relieve relativo y la inclinación de la ladera (RelaIncli):	122

6.2.3.4 Catálogo e Inventario de Movimientos en masa.....	123
6.2.3.4 Inventario y catálogo de movimientos en masa.....	126
6.1.6 Inventario de movimientos en masa.....	136
6.3 SUELOS TAXONÓMICOS.....	145
6.4 COBERTURA VEGETAL	145
7. PROCESO DE MODELAMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD	146
7.1 SUSCEPTIBILIDAD GEOLÓGICA	148
7.2 SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLÓGICA	150
7.2.1 Susceptibilidad Morfometría	151
7.2.2 Susceptibilidad Morfodinámica	152
7.2.3 Susceptibilidad Morfogénesis.....	153
7.3 SUSCEPTIBILIDAD SUELOS TAXONÓMICOS Y COBERTURA VEGETAL	155
7.4 SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA	157
8. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA	159
9. CONCLUSIONES	162
10. RECOMENDACIONES.....	165
BIBLIOGRAFIA.....	166
ANEXOS	173

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa Nacional de amenaza relativa escala 1:500.000, plancha 5-06. En donde se observa la amenaza relativa de la zona de estudio.....	29
Figura 2. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 136-Málaga, en donde se observa el área de estudio.	30
Figura 3. Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 136-Málaga.	31
Figura 4. Localización geográfica del área de estudio, Plancha 136-Málaga. Comprende los municipios de San José de Miranda, Enciso y Capitanejo.....	33
Figura 5. Mapa de precipitación en Santander.	35
Figura 6. Esquema de la metodología de trabajo, en base al Documento Metodológico del SGC.	36
Figura 7. Esquema de insumos necesarios para determinar la Susceptibilidad...	41
Figura 8. Formación Capacho (Ksc). Fotografía tomada hacia el NE desde el margen derecho de la vía que conduce hacia Capitanejo, vereda La Playa, Departamento de Santander. Coordenadas: X=1.149.415; Y=1.216.633; H=1046 m.	48
Figura 9. Estructura anticlinal de la Formación Capacho (Ksc). Fotografía tomada hacia el SW desde el margen derecho de la vía que va hacia Capitanejo, vereda La Playa, Departamento de Santander. Coordenadas: X=1.149.415; Y=1.216.633; H=1.046 m.	48
Figura 10. Miembro superior de la formación La Luna (Ksl). Fotografía tomada hacia el SW en la Vereda Los Robles, Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.152.827; Y=1.229.341; H= 1.722 m.	50
Figura 11. Formación Barco. Fotografía tomada hacia el NE desde el margen derecho de la vía que conduce al municipio de San Miguel, Santander. Coordenadas: X=1.150.501; Y=1.219.971; H=1.132 m.	52

Figura 12. Estrías de falla en la Formación Barco (Tpb). Fotografía tomada hacia el N en Margen izquierdo de la vía que conduce al Municipio de San Miguel, Santander, que evidencian el paso de la falla Tunebo. Coordenadas: X=1.150.501; Y=1.219.971; H=1.132 m.	53
Figura 13. Formación Carbonera (Tec). Fotografía tomada hacia el SW desde el Margen izquierdo de la vía que conduce de Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.151.335; Y=1.227.320; H=1.386 m.	55
Figura 14. Formación Carbonera (Tec). Fotografía tomada hacia el SW desde el margen derecho de la vía que conduce de Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.151.335; Y=1.227.320; H=1.386 m.	56
Figura 15. Pliegue en la Formación Carbonera (Tec). Fotografía tomada hacia el NE desde el margen derecho de la vía que conduce del municipio de Enciso a San José de Miranda, se observa un producto de esfuerzos compresivos causado probablemente por el paso de la falla Servitá. Coordenadas: X=1.151.335; Y=1.227.320; H=1.386 m.	57
Figura 16. Depósito coluvial (Qc). Fotografía tomada hacia el NW desde el margen izquierdo de la vía que conduce a capitanejo, Santander. Coordenadas: X=1.149.773; Y=1.216.633; H=1.046 m.	59
Figura 17. Depósito aluvial (Qal). Fotografía tomada hacia el NW por el camino que conduce al río Servitá. Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.151.347; Y=1.22.240; H=1.478 m.	60
Figura 18. Depósitos de cauce y llanura aluvial y los depósitos de terraza aluvial. Panorámica tomada hacia el NE desde la vía Capitanejo-Covarachía. Coordenadas: X=1.151.71; Y=1.214.096; H=1.217 m.	61
Figura 19. Diagrama de variables dentro de la temática Geología con su respectiva ponderación.	66
Figura 20. Esquema de la Clasificación por Geomorfología con su respectiva ponderación.	74

- Figura 21. Cauce aluvial (Fca) del Río Chicamocha. Panorámica tomada hacia el NE en el Municipio de Capitanejo, Santander. Coordenadas: X= 1.151.791 Y=1.214.096; H=1217 m. Fca: Cauce aluvial; Fbc: Barra compuesta; Sce: Cerro estructural.....80
- Figura 22. Barra Compuesta (Fbc) en el cauce del río Chicamocha. . Panorámica tomada hacia el N desde la vía Capitanejo hacia Covarachía, Municipio de Capitanejo, Santander. Coordenadas: X= 1.151.791 Y=1.214.096; H=1217 m.81
- Figura 23. Cono de deyección (Fcdy) al margen izquierdo del cauce del río Servitá. Panorámica tomada hacia el N en la vía del Municipio de Enciso hacia San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X= 1.150.814; Y= 1.228.504; H=1563 m. Dco: Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción; Slfe: Escarpe de línea de falla.....82
- Figura 24. Plano o Llanura de inundación (Fpi). Panorámica tomada hacia el NE Sobre el puente Peña Colorada 1. Municipio de Capitanejo, Santander. Coordenadas: X= 1.150.064; Y=1.216.776; H=1054 m.83
- Figura 25. Terraza de acumulación (Fta) al margen izquierdo de la Quebrada de Vera. Panorámica tomada hacia el SE por la vía que conduce del municipio de San Miguel a la vía principal hacia Capitanejo, Santander. Coordenadas: X=1.150.297; Y=1.219.940; H: 1149 m. Fte: Terraza de erosión.84
- Figura 26. Escarpe de terraza de acumulación (Ftae) al margen izquierdo del río Servitá. Panorámica tomada hacia el W por la vía que va desde el Municipio de Enciso hacia San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.151.134; Y=1.226.904; H=1386 m. Ftae: Escarpe de terraza de acumulación Ftan: Terraza de acumulación antigua.....85
- Figura 27. Terraza de acumulación sub-reciente (Ftas). Municipio de Enciso, Santander. Vereda Peña Colorada.86
- Figura 28. Cerro remanente o relicto (Dcrem). Vereda Agua Sucia, Municipio de San Miguel, Santander.....87

Figura 29. Cima (Dc). Panorámica tomada hacia el N desde la vereda Los Robles, Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.153.135; Y=1.229.243; H=1826 m. Secp: Escarpe de contrapendiente; Scor: Cornisa estructural; Slcp: Ladera en contrapendiente.	89
Figura 30. Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción (Dco), adyacente a este se aprecian laderas de contrapendiente (Slcp); también se observa terraza de acumulación antigua (Ftan). Panorámica tomada hacia el W en la Vereda Los Robles, Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.152.863; Y=1.229.192; H=1802 m.....	90
Figura 31. Cono de talus (Dct). Vía que conduce al Municipio de Capitanejo, Santander.	91
Figura 32. Escarpe de erosión mayor (Deem). Panorámica tomada hacia el W, Desde la Vereda Peña Colorada, Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.149.596; Y=1.218.458; H=1.114 m. Dco: Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción; Secp: Escarpe en contrapendiente; Scor: Cornisa estructural; Slcp: Ladera en contrapendiente.	91
Figura 33. Escarpe de erosión menor (Deeme). Municipio de Enciso, Vereda el Juncal; Santander.	93
Figura 34. Escarpe facetado (Def). Margen izquierdo de la vía que conduce a Capitanejo, Santander.	94
Figura 35. Lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc). Municipio de Enciso, Santander.	95
Figura 36. Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl). Municipio de Enciso, Vereda el Juncal, Santander. Dldeml: Lomo denudado moderado de longitud larga Dldebm: Lomo denudado bajo de longitud media.	96
Figura 37. Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra (Dlfl). Municipio de Enciso, Vereda el Juncal, Santander.....	98
Figura 38. Ladera erosiva (Dle). Fotografía tomada hacia el Norte en la Vereda El Mango-Loma del Negro, Municipio de Enciso, Santander. X=1.152.611; Y=1.224.321; H=1475m.....	99

Figura 39. Ladera ondulada (Dlo). Panorámica tomada hacia el NE Por la vía que va del Municipio de Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.150.213; Y=1.227.720; H=1.649 m. Slcp: Ladera en contrapendiente; Dco: Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción.....	100
Figura 40. Lomo residual (DIres). Municipio de Enciso, Vereda el Juncal, Santander.	101
Figura 41. Terrazas sobreelevadas “colgadas” (Dts). Municipio de Capitanejo, Departamento de Santander. Deem: Escarpe de erosión mayor.....	102
Figura 42. Cerro estructural (Sce). Panorámica tomada hacia el NE por la vía que conduce al Municipio de San José de Miranda desde Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.151.249; Y=1.227.081; H=1380 m.....	103
Figura 43. Cornisa estructural (Scor). Panorámica tomada hacia el E desde el margen izquierdo de la vía que se dirige al Municipio de San José de Miranda desde Málaga, Santander. Coordenadas: X=1.148.307; Y=1.228.962; H=2020 m. Sle: Ladera estructural; Slcp: Ladera en contrapendiente.	104
Figura 44. Espolón faceteado bajo de longitud larga (Sefcbl). Municipio de Capitanejo, Santander.	105
Figura 45. Espolón faceteado bajo de longitud media (Sefcbm). Municipio de Enciso, por el margen izquierdo de la vía que va hacia Capitanejo, Santaander.	106
Figura 46. Espolón bajo de longitud larga (Sesbl). Municipio de Capitanejo, Santander.	107
Figura 47. Escarpe de contrapendiente (Secp). Panorámica tomada hacia el NE en la parte alta de la Vereda Peña Colorada, Municipio de Enciso. Santander. Coordenadas: X=1.150.501; Y=1.219.71; H=1.132 m.....	108
Figura 48. Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle): Panorámica tomada hacia el N por la vía que se dirige al Municipio de San José de Miranda desde Málaga, Santander. Coordenadas: X=1.148.354; Y=1.228.538; H=2004 m.....	109

Figura 49. Lomo de falla (Slf). Vereda Peña Colorada, Municipio de Enciso, Santander.	110
Figura 50. Escarpe de línea de falla (Slfe) en el margen derecho del cauce del río Servitá. Panorámica tomada hacia el W desde la vía de San José de Miranda que conduce hacia el Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X= 1.151.412; Y=1.227.704; H= 1407 m.	111
Figura 51. Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc). Vereda Las Puertas, Municipio de Enciso, Santander. Dldebl: Lomo denudado bajo de longitud larga; Ssale: Ladera estructural de sierra anticlinal.	112
Figura 52. Sierra homoclinal (Ssh). Municipio de Enciso, margen derecho de la vía que conduce a Capitanejo, Santander.	114
Figura 53. Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc). Vereda Los Robles, Municipio de Enciso, Santander. Sshle: Ladera estructural de sierra homoclinal; Secp: Escarpe de contrapendiente.	115
Figura 54. Sierra de presión (Sslp). Panorámica tomada hacia el NE desde el margen izquierdo de la vía que conduce del Municipio de Enciso hacia San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.153.224; Y=1.224.703; H=1534 m.	116
Figura 55. Esquema de atributos de la variable morfometría, con su respectiva ponderación.	117
Figura 56. Esquema de atributos de la variable morfodinámica	120
Figura 57. Caída de rocas hacia el SW, en el margen izquierdo de Vía que conduce del Municipio de San José de Miranda a Málaga, Santander. Coordenadas: X=1.148.290; Y=1.228.636; h=2000 m.	127
Figura 58. Flujo de detritos hacia el SW, en el margen izquierdo de la Vía que conduce del Municipio de San José de Miranda a Málaga, Santander. Coordenadas: X=1.148.214; Y=1.228.806; h=2006 m.	128
Figura 59. Deslizamiento traslacional y flujo de detritos hacia el SW, en el margen derecho de la Vía que conduce del Municipio de San José de Miranda a Málaga, Santander.	129

Figura 60. Deslizamiento rotacional, panorámica tomada en la Vereda Los Robles hacia el SW, Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas proyectadas: X=1.152.979,88; Y=1230128,88; h=1826 m.	130
Figura 61. Flujo de detritos al Oeste del Río Servitá hacia el SW, Municipio de Enciso, Santander. Presencia se procesos erosivos principalmente surcos (profundidades menores de 50 cm) y cárcavas (profundidades entre 50-150 cm). Coordenadas: X=1.151.476; Y=1.229.941; h=1503 m.	131
Figura 62. Deslizamiento traslacional hacia el NW en la Vía que conduce del Municipio de Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.151.249; Y=1.227.081; h=1380 m.	132
Figura 63. Deslizamiento Traslacional estabilizado hacia el NW, en el margen izquierdo de la vía que conduce desde Enciso a San José de Miranda. Coordenadas: X=1.150.963,75; Y=1.227.033,25; h=1430m.	132
Figura 64. Deslizamiento traslacional estabilizado hacia el SW, en el margen izquierdo de la vía que conduce desde Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.150.884,38; Y=1.227.366,62; h=1478 m.	133
Figura 65. Deslizamiento traslacional estabilizado hacia el NW, en el margen izquierdo de la vía que conduce desde Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.149.660; Y=1.227.245; h=1715 m.	134
Figura 66. Deslizamiento Rotacional estabilizado hacia el NW, en el margen izquierdo de la vía que conduce desde Enciso a San José de Miranda desde Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.149.331; Y=1.226.656; h=1779 m.	135
Figura 67. Caída de rocas debido a escombros generados por la extracción de arenas hacia el SE, panorámica hacia la Vereda El Mango – La Loma del Negro Municipio de Enciso, Santander.	135
Figura 68. Caída de rocas debido a escombros generados por la extracción de arenas, hacia el NE en la Vereda El Mango – La Loma del Negro,	

- Municipio de Enciso, Departamento de Santander, se aprecia una cantera con caída de rocas debido extracción de arenas. Coordenadas: X=1.152.524; Y= 1.224.393; h=1424 m. 136
- Figura 69. Flujo de detritos hacia el Este. Fotografía tomada desde el margen izquierdo de la vía que conduce de Málaga a San José de Miranda, Santander. Hacia el Este se observa un flujo de detritos. Coordenadas: X=1.149.122,25; Y=1.228.962; h=2020 m. 137
- Figura 70. Movimiento compuesto hacia el Norte. Presenta caída de rocas y detritos como primer movimiento y deslizamiento traslacional como segundo movimiento. En el Municipio de Enciso, Santander, cauce arriba del Río Servitá, hacia el lado Oeste del río. Coordenadas: X=1.151.414,87; Y=1.230.233,39; h=1548 m. 138
- Figura 71. Movimiento compuesto hacia el Oeste. Presenta caída de rocas y detritos como primer movimiento y deslizamiento traslacional como segundo movimiento. Municipio de Enciso, Departamento de Santander, cauce arriba del Río Servitá, hacia el lado Oeste del río. Coordenadas: X=1.151.281,23; Y=1.227.636,5 h=1407 m..... 139
- Figura 72. Caída de rocas y detritos hacia el NE, en la Vereda El Mango-Loma el Negro Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.152.611; Y=1.224.321; h=1475 m..... 140
- Figura 73. Movimiento complejo con distribución confinada, correspondiente a caída y deslizamiento rotacional hacia el NW, en la Vereda El Mango-Loma el Negro en el Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.153.547; Y=1.224.876; h=1593m. 141
- Figura 74. Movimiento único con distribución retrogresiva hacia el NW, correspondiente a deslizamiento rotacional en la Vereda Quebrada de Vera, Municipio de Capitanejo, Santander. Coordenadas: X= 1.149.296,88; Y=1.218.730,6; h=1114 m..... 143
- Figura 75. Movimiento único con distribución retrogresiva hacia el NW, correspondiente a deslizamiento rotacional en la Vereda Quebrada de

Vera, Municipio de Capitanejo, Santander. Coordenadas: X= 1.149.296,88; Y=1.218.730,6; h=1114 m.....	144
Figura 76. Proceso de modelamiento para el análisis de susceptibilidad.	147
Figura 77. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad geológica.	149
Figura 78. Actualización del mapa Geológico	150
Figura 79. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Morfometría.....	151
Figura 80. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Morfodinámica.	152
Figura 81. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Morfogénesis.	154
Figura 82. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Geomorfología.	155
Figura 83. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Suelos taxonómicos.....	156
Figura 84. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Cobertura Vegetal.....	157
Figura 85. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por movimientos en masa.	158
Figura 86. Valores para de la Susceptibilidad por movimientos en masa en el área de estudio.	161

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Tabla de las Unidades Geológicas presentes en el área de estudio.	44
Tabla 2.	Rangos de densidad y su clasificación de susceptibilidad a nivel nacional.....	67
Tabla 3.	Clasificación de la Textura/Fábrica de las rocas.	67
Tabla 4.	Calificación de las rocas dependiendo de su Textura/Fábrica.....	68
Tabla 5.	Tabla de Calificación de las rocas dependiendo de su Resistencia.	69
Tabla 6.	Categorías de resistencia a la compresión simple de las rocas según Hooke, 1996.....	70
Tabla 7.	Valoración de Susceptibilidad de los Depósitos.	72
Tabla 8.	Calificación de depósitos presentes en el área de estudio.	73
Tabla 9.	Atributos para la calificación de unidades Geomorfológicas.....	75
Tabla 10.	Clasificación de las geoformas presentes en el área de trabajo de acuerdo a la génesis del ambiente.....	77

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012.....	CD
ANEXO B. FORMATO MODIFICADO PARA CATÁLOGO DE MOVIMIENTOS EN MASA.....	CD
ANEXO C. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE MORFOMETRÍA PARA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA	CD
ANEXO D. PLANCHA 136-MÁLAGA ESCALA 1:100.000.....	CD
ANEXO E. MAPA DE UNIDADES MORFOGENÉTICAS ESCALA 1:25.000	CD
ANEXO F. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MORFOGÉNESIS ESCALA 1:25.000.....	CD
ANEXO G. MAPA DE PENDIENTES.....	CD
ANEXO H. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MORFOMETRÍA ESCALA 1:25.000.....	CD
ANEXO I. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MORFODINÁMICA ESCALA 1:25.000.....	CD
ANEXO K. MAPA DE UNIDADES DE DEPÓSITOS CUATERNARIOS ESCALA 1:25.000.....	CD
ANEXO L. ACTUALIZACIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO ESCALA 1:100.000.....	CD
ANEXO M. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA ESCALA 1:25.000	CD
ANEXO N. MAPA DE UNIDADES DE SUELOS TAXONÓMICOS ESCALA 1:25.000.....	CD
ANEXO O. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS TAXONÓMICOS ESCALA 1:25.000.....	CD
ANEXO P. MAPA DE UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL ESCALA 1:25.000	CD
ANEXO Q. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURA VEGETAL ESCALA 1:25.000.....	CD
ANEXO R. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	CD

RESUMEN

TITULO: CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO APLICADO A SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN UN ÁREA COMPRENDIDA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE SAN JOSÉ DE MIRANDA, ENCISO Y CAPITANEJO*

AUTORES: ANA ALEXANDRA CORREA CRUZ; ANDRÉS FELIPE BERMÚDEZ PINEDA**

PALABRAS CLAVE: Susceptibilidad, movimientos en masa, geomorfológico, geológico, unidad geomorfológica.

DESCRIPCIÓN:

Los daños generados por movimientos en masa han aumentado considerablemente en las últimas décadas, ejemplo claro de esta situación se refleja en la ola invernal ocurrida durante Septiembre de 2010 y Mayo de 2011. Debido a la ocurrencia de este tipo de eventos surgen proyectos de Zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa encaminadas a la prevención de este tipo de desastres.

Teniendo en cuenta que la zona de estudio, comprendida entre los municipios de San José de Miranda, Enciso y Capitanejo, presenta características geomorfológicas y geológicas marcadas, además de los evidentes problemas de susceptibilidad por movimientos en masa, se hace necesaria la realización de estudios que puedan contribuir al control, y a la prevención de los desastres ocasionados por dichos movimientos.

Mediante este proyecto de investigación se genera el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa a partir del análisis Geomorfológico y geológico, a escala 1:25000, teniendo como base el “Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por movimientos en masa a escala 1:100.000” del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2013), y se determina que el área de estudio presenta valores de susceptibilidad que varían predominantemente entre media y alta, con pendientes que sobrepasan los 19 grados, unidades geomorfológicas de origen predominantemente estructural y denudacional, con presencia de depósitos coluviales de poca extensión principalmente.

Los resultados aquí obtenidos se toman como aporte para la realización de futuros estudios de susceptibilidad detallados que permitan un mejoramiento en la planeación y ejecución de proyectos de infraestructura y desarrollo local como Planes de Ordenamiento Territorial (POT), encaminados a la prevención de desastres ocasionados por movimientos en masa.

*Trabajo de grado

**Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director Joaquín Andrés Valencia Ortiz. Geólogo

ABSTRACT

TITLE: CONTRIBUTION TO GEOMORPHOLOGICAL AND GEOLOGICAL STUDY APPLIED TO MASS MOVEMENT SUSCEPTIBILITY IN AN AREA COMPRISED BETWEEN SAN JOSÉ DE MIRANDA, ENCISO AND CAPITANEJO MUNICIPALITIES *

AUTHORS: ANA ALEXANDRA CORREA CRUZ; ANDRÉS FELIPE BERMUDEZ PINEDA**

KEYWORDS: Susceptibility, mass movement, geomorphological, geological, geomorphological unit.

DESCRIPTION:

The damage caused by mass movements have increased significantly in recent decades, a clear example of this situation is reflected in the rainy season occurred during September 2010 and May 2011. Due to the occurrence of such events arise zoning susceptibility and threat relative projects aimed at preventing that kind of disasters.

Bearing in mind that the study area comprised between San José de Miranda, Enciso and Capitanejo Municipalities, presents geomorphological and marked geological features besides the obvious problems of mass movements susceptibility, is necessary to carry out studies that can contribute to the control and prevention of disasters caused by those movements.

The mass movements susceptibility map is generated through this research project from the geomorphological and geological analysis, scale 1:25000, based on the "Methodological Document of Zoning Susceptibility and mass movements threats scale 1:100,000 by Colombian Geological survey (SGC, 2013), and determined that the study area presents susceptibility values that vary predominantly between medium to high, with slopes exceeding 19 degrees, geomorphological units of predominantly structural and denudational origin, with presence of colluvial deposits mainly small extent.

The results obtained here are taken as input for future detailed susceptibility studies to allow an improvement in the planning and execution of infrastructure projects and local development, like Land Management Plans (LMP), aimed at the prevention of disasters caused by mass movements.

*Grade Work.

**Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Director: Joaquín Andrés Valencia Ortiz.

INTRODUCCION

De acuerdo con Cruden (1991), el termino movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad, y son el producto de la interacción de factores intrínsecos del terreno predispuestos a una situación de inestabilidad y factores extrínsecos o desencadenantes que son responsables de la detonación de dichos procesos (Rincón, 2014).

La susceptibilidad por movimientos en masa hace referencia a la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales inherentes del terreno. Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de movimientos en masa debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, composición litológica, sismicidad, meteorización y lluvias intensas (Suarez, 1998).

Los daños generados por movimientos en masa han aumentado considerablemente en las últimas décadas, debido a condiciones como el aumento en la población, el cambio climático, pérdida de cobertura vegetal y sobreexplotación de la tierra. Los daños son muy costosos incluso para las sociedades industrializadas, por esta razón la tendencia es hacia el desarrollo de sistemas de alerta temprana y restricciones en el uso de la tierra con el fin de reducir al mínimo la pérdida de vidas y de bienes (SGC, 2013).

Dadas las condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas, y de usos del suelo que prevalecen en el área comprendida entre los municipios de Enciso, San José de Miranda y Capitanejo, y teniendo en cuenta los diferentes factores de

riesgo que implican los movimientos en masa, se emplean estrategias en la gestión de riesgo de desastres naturales, mediante diferentes metodologías y estudios multidisciplinarios con el propósito de diferenciar y darle atención prioritaria a las áreas más susceptibles frente al fenómeno en cuestión.

En el presente informe se presenta una recopilación de datos obtenidos a partir del trabajo de oficina y control de campo, con el fin de generar un mapa de susceptibilidad por movimientos en masa a escala 1:25000 para la zona de interés, para lo cual fueron estrictamente necesarios algunos insumos generales, como el modelo de elevación digital (DEM) e insumos temáticos como geología, geomorfología, suelos taxonómicos y cobertura vegetal; en este caso, los dos últimos insumos fueron suministrados por el proyecto “Mapa Nacional de Susceptibilidad y Amenaza relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000” contemplado en el Convenio especial de Cooperación No. 009 entre el Servicio Geológico Colombiano y la Universidad Industrial de Santander en el año 2013, y modificados para utilizarlos como insumos secundarios para el modelo de susceptibilidad a escala 1:25.000 .

La información aquí obtenida podrá ser utilizada como base para futuros estudios detallados de planeación y ejecución de proyectos de infraestructura y desarrollo regional, además de contribuir en la predicción y prevención, en el modelo de susceptibilidad, de posibles situaciones de amenaza futuras.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los daños generados por movimientos en masa han aumentado considerablemente en las últimas décadas, ejemplo claro de esta situación se refleja en la ola invernal ocurrida durante Septiembre de 2010 y Mayo de 2011. La ola invernal se manifestó con intensas lluvias, que afectaron con inundaciones avalanchas y remociones en masa a varias zonas del país.

De acuerdo al documento de Cepal (2012) “Valoración de daños y pérdidas Ola invernal en Colombia 2010-2011” una de las consecuencias más graves de esta continuada, inusitada y elevada precipitación ocurrida de manera generalizada en amplias zonas del país, ha sido la crecida y el desborde de ríos y cuerpos de agua, que inundaron en forma extensa y prolongada regiones que en inviernos normales no se habrían inundado. Además de las severas inundaciones –que captaron la mayor atención por su extensión y duración– se produjeron importantes deslizamientos y movimientos de masas que agravaron las consecuencias, en particular con daños considerables en infraestructura (vías, acueductos). Para ilustrar esta amenaza y su cristalización en la estación invernal 2010-2011, el Ideam comparó la persistencia de la amenaza por deslizamientos detonados por las lluvias en el periodo la Niña 2010 con un período neutro en el año 2008, y concluye que fue muy significativo el aumento del área de amenaza por departamentos, según el cambio en la categoría de esta.

Debido a la ocurrencia de este tipo de eventos de gran magnitud, en los que se ven afectadas comunidades, ecosistemas, infraestructura, economía, entre otros, se hace indispensable el desarrollo de políticas y procedimientos que permitan realizar un control de las zonas que presentan mayor índice de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa. De esta manera surgen proyectos de

Zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa, encaminadas a la prevención de este tipo de desastres.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y que la zona de estudio, comprendida entre los municipios de San José de Miranda, Enciso y Capitanejo, presenta características geomorfológicas y geológicas marcadas, además de los evidentes problemas de susceptibilidad por movimientos en masa que se acentuaron durante la ola invernal 2010-2011, se hace necesaria la realización de estudios que puedan contribuir al control, y a la prevención de los desastres ocasionados por dichos movimientos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Generar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa a partir del análisis Geomorfológico y geológico, a escala 1:25000 en un área que comprende las planchas 136-I-D, 136-II-C, 136-III-B, 136-IV-A.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Procesar la información del DEM para la obtención de atributos morfométricos.
- Elaborar la cartografía de unidades morfogenéticas a escala 1:25000 a partir de la interpretación y control de campo.
- Realizar el mapa morfodinámico a escala 1:25.000, considerando información de depósitos Cuaternarios y movimientos en masa, interpretados y registrados en campo.
- Refinar y actualizar los depósitos Cuaternarios del mapa geológico a partir de la interpretación geomorfológica y control de campo como un insumo para el modelo de susceptibilidad.

- Generar un inventario y catálogo de movimientos en masa con base en información de campo.
- Generar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa a partir del Método Heurístico teniendo en cuenta las variables de geomorfología y geología

1.2 JUSTIFICACIÓN

A partir de la problemática de movimientos en masa que se acentuó en la zona de estudio después de la ola invernal 2010-2011 , surge la idea de realizar un trabajo que ayude a profundizar en el entendimiento acerca de cuáles son los principales elementos geológicos y geomorfológicos que contribuyen en la generación de los movimientos en masa en el área de interés y además definir mediante el análisis integrado de dichas temáticas, cuáles son las áreas que presentan mayor propensión a desarrollar este tipo de fenómenos geológicos.

De este tipo de estudios a escala 1:25.000 no se encontraron antecedentes en la zona, por tanto los resultados aquí obtenidos, podrán ser utilizados como base para la realización de futuros estudios de susceptibilidad detallados que permitan un mejoramiento en la planeación y ejecución de proyectos de infraestructura y desarrollo local, encaminados a la prevención de desastres ocasionados por movimientos en masa.

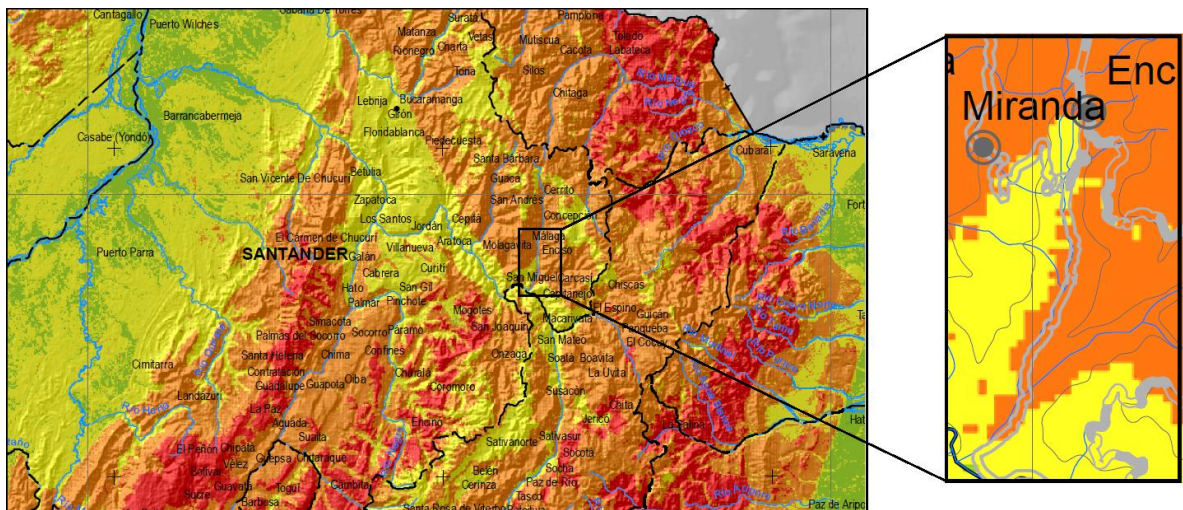
1.3 ANTECEDENTES

El área de interés se caracteriza por presentar problemas de erosión e inestabilidad en las laderas, los cuales, generan movimientos en masa, lo que la hace una zona susceptible, y por ende de gran interés para la realización de trabajos que permitan dar soluciones a dicha problemática. Trabajos preliminares son fundamentales para tener una idea del contexto geológico y geomorfológico

del área de estudio, además de complementar estudios recientes como el que se pretende desarrollar en el presente trabajo.

Trabajos como el “Mapa Nacional de amenaza relativa por movimientos en masa” Escala 1:500.000 realizado por Ingeominas en conjunto con el IDEAM en el año 2010 muestra que para el área de estudio la cual se encuentra enmarcada dentro de la zona de la Cordillera Oriental, y está catalogada con calificaciones para la amenaza relativa por movimientos en masa predominantemente alta y media, como se observa en la **Figura 1**. Representa zonas con sismicidad alta, con macrounidades geomorfológicas de montaña alta, media y baja. Las unidades litológicas regionales predominantes corresponden a rocas sedimentarias de ambiente marino, continental y transicional de diferentes edades, y en menor proporción rocas metamórficas; y predominan depósitos coluviales y aluviales.

Figura 1. Mapa Nacional de amenaza relativa escala 1:500.000, plancha 5-06. En donde se observa la amenaza relativa de la zona de estudio.

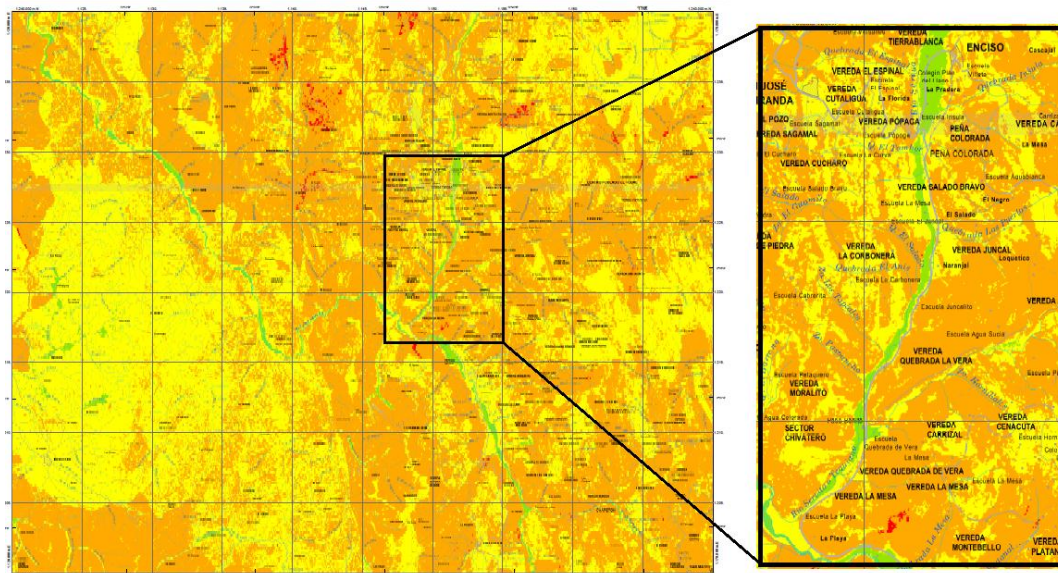


Fuente: Tomado y modificado de Ingeominas, 2010.

Seguido a este trabajo se suma el “Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa” escala 1:100.000 y el “ Mapa de amenaza relativa por movimientos en

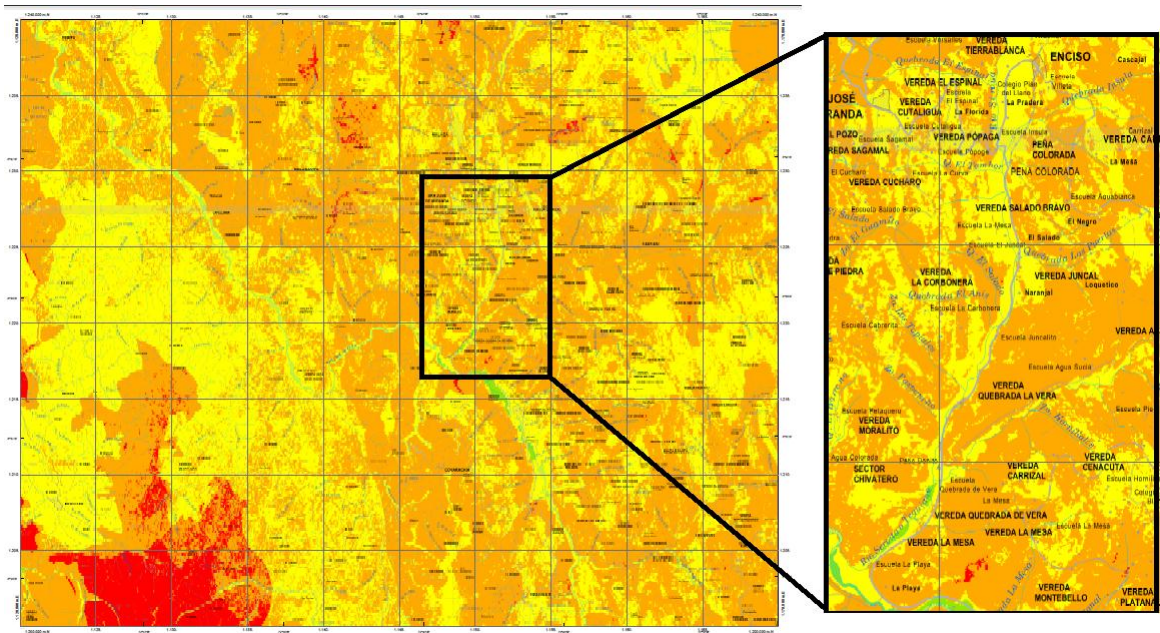
masa” escala 1:100.000 elaborados mediante el convenio especial 009 entre el Servicio Geológico Colombiano (Anteriormente Ingeominas) y la Universidad Industrial de Santander en el año 2014, a partir del "Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa 1:100.000" del Servicio Geológico Colombiano del año 2012. Como se observa en las **Figuras 2 y 3**, tanto en el mapa de susceptibilidad como en el de amenaza, la zona de trabajo se cataloga predominantemente con calificaciones altas y medias, seguido de calificaciones bajas y en mínima proporción se encuentran calificaciones muy altas.

Figura 2. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 136-Málaga, en donde se observa el área de estudio.



Fuente: Tomado y modificado de SGC, 2014.

Figura 3. Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 136-Málaga.



Fuente: Tomado y modificado de SGC, 2014.

También existen trabajos más locales dentro de los que se encuentra el trabajo de Portilla (1999) en el que se muestra la aplicación del conocimiento geológico en la evaluación de la Amenaza por Deslizamientos, tomando como ejemplo el fenómeno de remoción en masa que se presenta en un sector del municipio de Málaga Santander. En dicho estudio, se aplica la metodología matemática de lógica difusa, que se fundamenta en la calificación de parámetros a través de criterios de expertos. Estas a su vez expresan el razonamiento cualitativo que el ser humano hace de su entorno por medio de un juicio o abstracción de la realidad, utilizando el conocimiento y la experiencia en el proceso que valora.

Trabajos en los que se tiene presente la problemática de susceptibilidad por amenazas y desastres naturales, además de los usos potenciales de los suelos como es el caso de los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT, 2003) de los municipios de San José de Miranda, Enciso, Capitanejo y Málaga. En estos

documentos se definieron los diferentes tipos de amenazas presentes tanto en el casco urbano como en las zonas rurales de cada municipio. Para el caso particular de San José de Miranda, en el año 2002 se generó un mapa de Zonificación del suelo a escala 1:25.000.

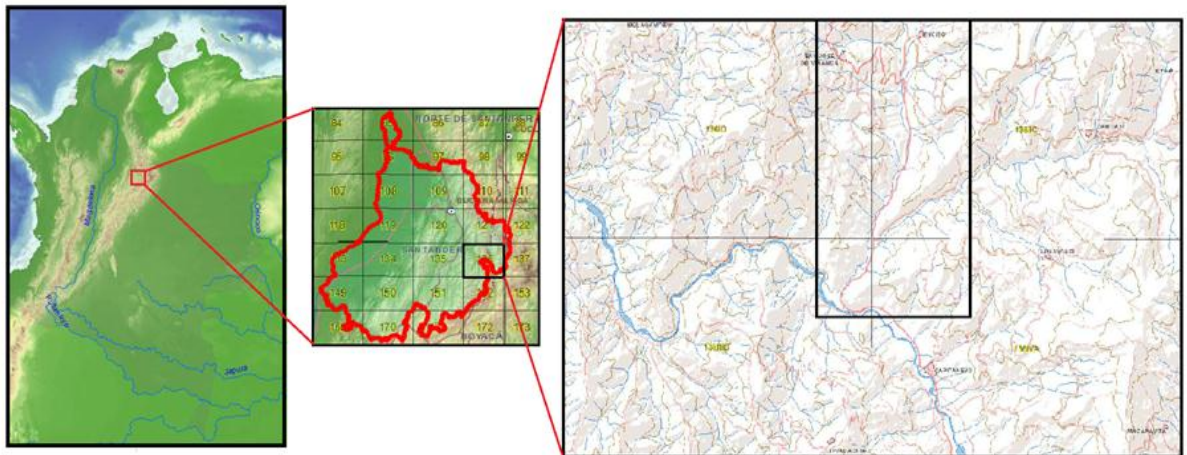
Por último, el trabajo de Vesga (2009), corresponde a un proyecto de grado de la Universidad Industrial de Santander denominado “Amenaza por movimientos en masa, en la micro cuenca Quebrada La Virgen, en el Municipio de San José de Miranda Santander”. En dicho trabajo se realiza una evaluación de amenaza por movimientos en masa a partir de la realización de mapas temáticos a escala 1:10.000 mediante la utilización del software ARCGIS.

2. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra enmarcada geográficamente dentro de la Cordillera Oriental, hacia el extremo meridional del Macizo de Santander, forma parte de la Provincia García Rovira y comprende los municipios de San José de Miranda, Enciso y Capitanejo. Presenta un área total de 141Km² incluidas en las planchas topográficas del IGAC 136-I-D, 136-II-C, 136-III-B, 136-IV-A a escala 1:25.000 (**Figura 4**).

Figura 4. Localización geográfica del área de estudio, Plancha 136-Málaga. Comprende los municipios de San José de Miranda, Enciso y Capitanejo.



Fuente: Tomado y modificado de Geoportal Instituto Colombiano Agustín Codazzi.

<http://geoportal.igac.gov.co/>.

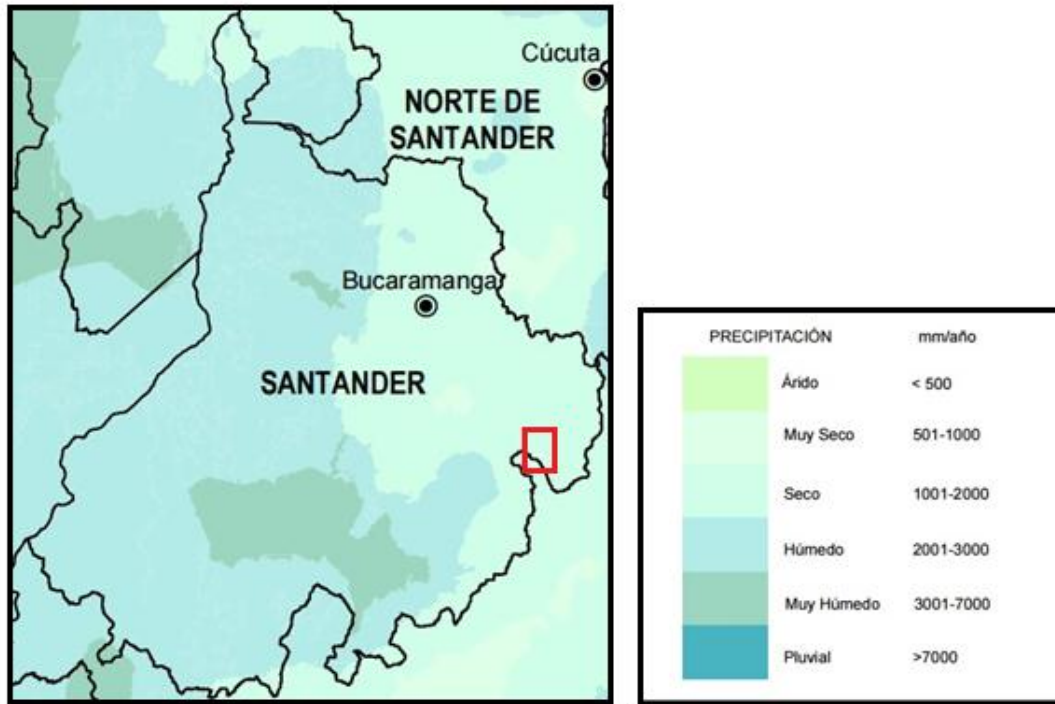
2.2 CLIMATOLOGÍA

En el área de interés se encuentran diferencias topográficas bastante marcadas, desde plano hasta muy escarpado, abarcando alturas que van desde los 3.800 m.s.n.m representado en el extremo oriental en la Cordillera de Cisneros de la vereda Cochagá, hasta los 900 m.s.n.m el cual es el punto más bajo que se encuentra sobre la margen del Río Chicamocha en los límites con los Municipios de Covarachía y Molagavita (CMGRD, 2013). Esto hace suponer condiciones climáticas variadas a lo largo de toda el área.

La temperatura varía entre los 12 ° C y los 28 ° C, siendo el municipio de Enciso la zona más fría, y el municipio de Capitanejo la zona más caliente del área de estudio. La precipitación anual oscila entre los 950 y 1300 milímetros aproximadamente (EOT Enciso y Capitanejo, 2003).

Según el mapa del proyecto sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial, SIG-OT del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2012. La zona de interés en cuanto a precipitaciones está catalogada como un área seca con precipitaciones que van de 1001 a 2000 mm por año, como se observa en la **figura 5**.

Figura 5. Mapa de precipitación en Santander.

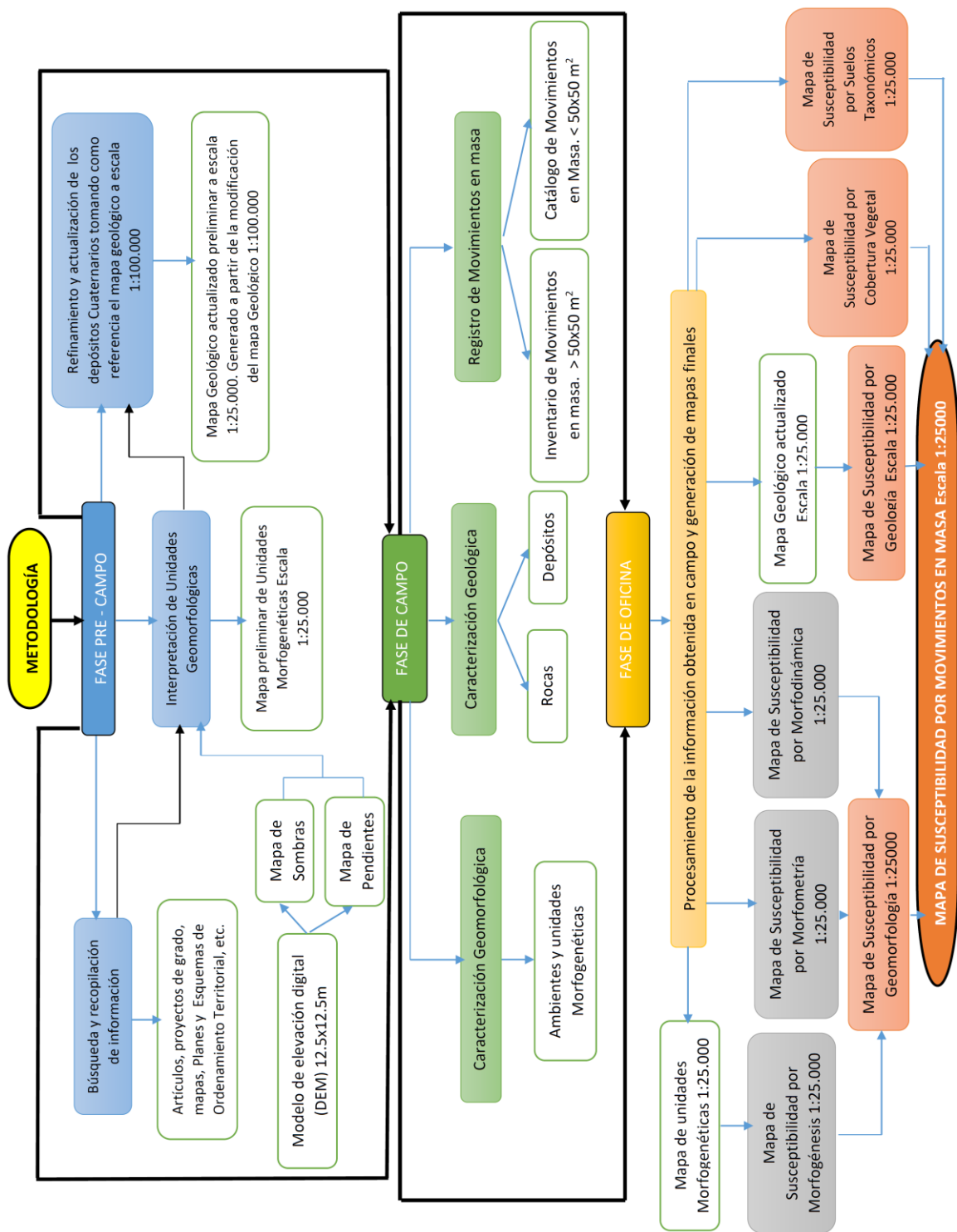


Fuente: Tomado y modificado del proyecto sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial, SIG-OT del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2012.

3. METODOLOGÍA

La metodología a seguir se basa en una serie de procesos necesarios para desarrollar de forma consecutiva la recopilación, análisis e interpretación de la información necesaria para la realización este proyecto. Teniendo como base el Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por movimientos en masa a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2013), en el cual se proponen la geología, geomorfología, cobertura vegetal, y usos del suelo como variables necesarias para la realización del mapa de susceptibilidad. Para este proyecto se trabajó con las variables de geología y geomorfología. Las variables de cobertura vegetal y suelos edáficos fueron suministradas por el proyecto Convenio Institucional Especial SGC-UIS 2013 tomadas de la información empleada en el desarrollo del proyecto “Mapa Nacional de Susceptibilidad y Amenaza relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000” contemplado en el Convenio especial de Cooperación No. 009 entre el Servicio Geológico Colombiano y la Universidad Industrial de Santander en el año 2013.

Figura 6. Esquema de la metodología de trabajo, en base al Documento Metodológico del SGC.



Fuente: Tomado y modificado de SGC, 2013.

Fase Pre campo: Esta fase consiste en toda aquella labor de búsqueda, adquisición, recopilación, síntesis y análisis de información secundaria, es decir, aquellos datos obtenidos de forma indirecta acerca del área de estudio, por medio de diferentes fuentes, tales como artículos, proyectos de grado, mapas, Planes y Esquemas de Ordenamiento Territorial de las alcaldías involucradas en el área de estudio. Principalmente en la búsqueda y recopilación de información, tanto bibliográfica como mapas. Seguida de la generación e interpretación de unidades geomorfológicas, refinamiento y actualización del mapa geológico (calificación de unidades de roca y suelo), siendo estos los mapas preliminares generados a partir de fotointerpretación.

Lo anterior teniendo como insumos básicos el Modelo de elevación digital (DEM de 12,5 m) obtenido de la cobertura de imágenes del sistema ALOS PALSAR 1 para Colombia, el cual se re proyectó para que coincidiera con el sistema de coordenadas Magna Colombia Bogotá (sistema de coordenadas en el que se presentan los mapas generados), y a partir del cual se generó el mapa de sombras y mapa de pendientes; insumos temáticos como el mapa geológico de la zona a escala 1:100.000 (Ingeominas, 1984) el cual fue modificado para obtener el mapa geológico actualizado preliminar a escala 1:25.000.

Fase de Campo: El trabajo de campo se basó en la toma de datos directamente del terreno, con el fin de modificar y/o complementar la información anteriormente reunida. Se centró principalmente en la caracterización geomorfológica y geológica y teniendo en cuenta geoformas, forma del relieve, inclinaciones de ladera, datos estructurales, tipos de material, procesos morfodinámicos, entre otros.

En el recorrido se recolectó información de movimientos en masa, ambientes y sus unidades Morfogenéticas, depósitos, rocas, y se registraron movimientos en masa tanto para Inventario como para Catálogo. Los movimientos en masa que

entran en el catálogo presentan áreas menores a 50X50 m², y los movimientos que entran en el Inventario presentan áreas mayores a 50X50 m².

Se desarrollaron unos formatos diseñados para la recolección del inventario y catálogo de movimientos en masa, y se utilizaron el “Formato modificado para inventario de movimientos en masa Vs 2012” (**ANEXO A**) y el “Formato modificado para catálogo de movimientos en masa” (**ANEXO B**) para inventariar, clasificar y caracterizar los diferentes procesos de movimientos en masa. Estos formatos fueron tomados del Proyecto Multinacional Andino (PMA) y modificados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Entre tanto, para el desarrollo de la variable morfogenética se caracterizaron las diferentes geoformas que integran el paisaje, los procesos que actuaron y que modelan actualmente la superficie terrestre, también se tuvo en cuenta la génesis de estas expresiones morfológicas, según su ambiente de origen. Para este atributo también se contó con un formato de adquisición de datos para facilitar y agilizar el trabajo de campo. Dicho formato fue elaborado por la Universidad Industrial de Santander (UIS) y se empleó por primera vez en el desarrollo del proyecto “Mapa Nacional de Susceptibilidad y Amenaza relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000” contemplado en el Convenio especial de Cooperación No. 009 entre el Servicio Geológico Colombiano y la Universidad Industrial de Santander en el año 2013 y se tomó la decisión de emplearlo para el presente proyecto por la practicidad del mismo (**ANEXO C**). Estos formatos, junto a diferentes esquemas y buen registro fotográfico son la base para la siguiente fase del proceso metodológico.

Fase de Oficina: Consistió en el procesamiento de la información obtenida en campo mediante el software ARCGIS versión 10.3.1, se realizaron los respectivos ajustes a los mapas preliminares de geología y morfogénesis.

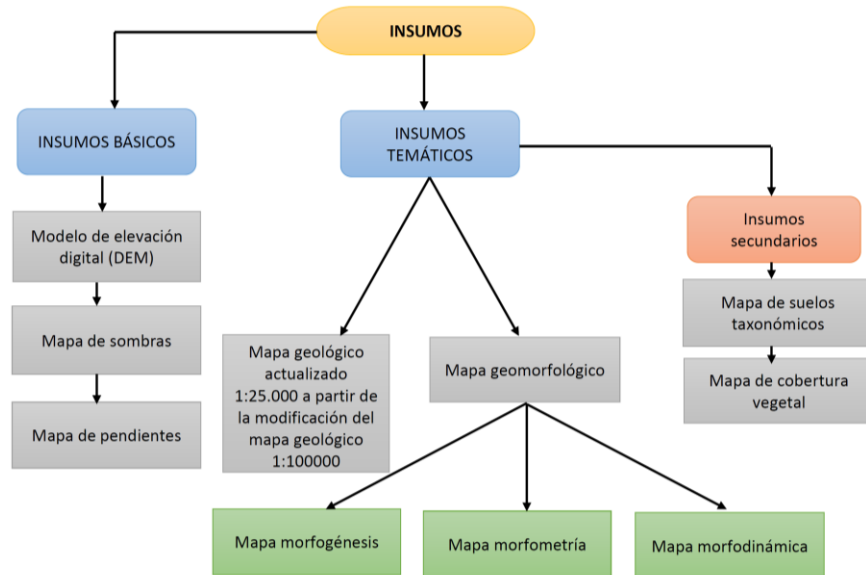
Se registraron los movimientos en masa incluidos en el catálogo e inventario. Cabe anotar que fue necesaria la proyección de algunos puntos sobre el mapa topográfico debido a que no fue posible llegar hasta el sitio exacto donde se produjo el movimiento y por lo tanto, las coordenadas fueron registradas mediante visuales.

Se generaron los mapas faltantes para el modelo de Susceptibilidad: Mapa de Unidades Morfogenéticas, Mapa Geológico actualizado, Mapa de Susceptibilidad por Geomorfología (a partir de los mapas de Susceptibilidad por Morfogénesis, Morfodinámica y Morfometría) y Mapa de Susceptibilidad por Geología; mapas de Suelos Taxonómicos y Cobertura Vegetal los cuales fueron suministrados por el proyecto “Mapa Nacional de Susceptibilidad y Amenaza relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000” contemplado en el Convenio especial de Cooperación No. 009 entre el SGC y la UIS, y modificados para utilizarlos como insumos secundarios para el modelo de susceptibilidad a escala 1:25.000.

Estos mapas son indispensables para determinar la susceptibilidad por movimientos en masa, además del presente informe, el cual reúne todas las actividades realizadas, los resultados obtenidos, los productos entregados y el impacto o la utilidad de este trabajo de investigación.

4. INSUMOS

Figura 7. Esquema de insumos necesarios para determinar la Susceptibilidad.



Fuente: Tomado y modificado de SGC, 2013.

4.1 INSUMOS BÁSICOS.

Los insumos básicos empleados en este proyecto son el modelo digital de elevación (DEM), el mapa de pendientes y el mapa de sombras.

4.1.1 Modelo de elevación digital. Los Modelos de Elevación Digital (DEM) son definidos como una estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de la altitud en la superficie terrestre, almacenados en una base de datos digital, georreferenciada en un sistema de proyección cartográfica (Felicísimo, 1994).

Para la generación del mapa de sombras y mapa de pendientes se utilizó un modelo de elevación digital DEM obtenido a través de la página Alaska Satellite Facility (ASF) de la cobertura de imágenes del sistema ALOS PALSAR 1 para Colombia, que operó entre el 2006 y 2011 a una resolución de aproximadamente 12,5 m en el Ecuador. Se utilizó el DEM de 12,5 m ya que brinda mayor nitidez para la delimitación de unidades en comparación con el de 30 m en el cual la delimitación por divisorias de aguas y demás tiende a ser más difusa e incierta a esta escala de trabajo (1:25000) debido a un mayor tamaño de píxeles y a la vez por menor densidad de los mismos.

4.1.2 Mapa de sombras. A partir del modelo digital de elevación (DEM) se obtuvo un mapa de sombras donde se ven representadas las sombras que genera el relieve debido a la proyección de la luz, desde un foco externo al modelo; para este caso el foco representaría al sol con una dirección de azimut y un valor de altitud establecidos.

4.1.3 Mapa de pendientes. (ANEXO G) Derivado del modelo digital de elevación (DEM) se generó el mapa de pendiente correspondiente a una variable cuantitativa y continua. Para realizar el procesamiento se utilizó el software ArcGis 10.3.1 y su herramienta "3D Analyst-SLOPE".

4.2 INSUMOS TEMÁTICOS.

Los insumos temáticos utilizados son el Mapa geológico, y el Mapa geomorfológico en sus tres atributos (morfogénesis, morfodinámica y morfometría).

4.2.1 Mapa geológico escala 1:100.000: Insumo realizado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) corresponde a la Plancha 136- Málaga (**ANEXO D**), la cual proporciona información geológica, correspondiente a la identificación de

las diferentes unidades litoestratigráficas presentes en el área, así como la definición de algunos elementos estructurales como fallas, lineamientos y estructuras. También posee información sobre recursos naturales y manifestaciones minerales. Este insumo fue modificado para generar el mapa geológico con los depósitos cuaternarios refinados y actualizados a escala 1:25.000 (ANEXOS L y M).

4.2.2 Mapa geomorfológico. (ANEXO J) Se genera a partir de la suma de sus tres atributos, los cuales se presentan a continuación:

4.2.2.1 Mapa Morfogénesis: (ANEXOS E y F) Se genera a partir de la interpretación y control de campo de unidades morfogenéticas y sus respectivos ambientes.

4.2.2.2 Mapa morfometría. (ANEXO H) Se genera a partir del mapa de pendientes, rugosidad y acuenca (derivados del DEM).

4.2.2.3 Mapa morfodinámica. (ANEXO I) Se genera a partir del relieve relativo, inclinación de ladera, inventario y catálogo de movimientos en masa y los depósitos cuaternarios refinados y actualizados en el mapa geológico.

4.2.3 Insumos Secundarios. Hacen referencia a los insumos tomados de otras fuentes como el Mapa de Suelos Taxonómicos (ANEXOS N y O) y el mapa de Cobertura vegetal (ANEXOS P y Q), los cuales como se mencionó anteriormente fueron suministrados por el proyecto “Mapa Nacional de Susceptibilidad y Amenaza relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000” contemplado en el Convenio especial de Cooperación No. 009 entre el SGC y la UIS.

5. MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se encuentra totalmente incluida en la cuenca de Maracaibo, y en ella solo se observa el afloramiento de rocas sedimentarias Cretácicas y Terciarias, suprayacidas por los depósitos cuaternarios (EOT Capitanejo, 2003).

La ubicación del municipio de San José de Miranda en la cordillera Oriental lo enmarca bajo la acción tectónica de las placas de Nazca, Caribe, y Sur Americana, que han ocasionado el levantamiento de esta. Dicha cordillera presenta un basamento de protolitos de corteza continental posteriormente metamorizados e intruídos por magmas félsicos, acompañados por una secuencia de sedimentitas y metasedimentitas paleozoicas, seguida de una secuencia de sedimentitas Mesozoicas que se extienden hasta el Terciario, en donde se inicia la depositación de los materiales cuaternarios de origen glacial, aluvial y coluvial.

De manera general se presentan las rocas más antiguas hacia el centro de la cordillera y las jóvenes se preservan en sus flancos. En la región nordeste de la cordillera incluyendo el macizo de Santander se presentan numerosos plutones, los cuales separan la cuenca de Maracaibo y Barinas – Apure de la cuenca del Magdalena Medio. El área municipal se encuentra totalmente incluida en la cuenca de Maracaibo, observándose en afloramientos de rocas Cretácicas y Terciarias, suprayacidas por los depósitos cuaternarios (Vesga, 2009).

5.1 ESTRATIGRAFÍA

Las Unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio se describen a continuación:

Tabla 1. Tabla de las Unidades Geológicas presentes en el área de estudio.

PERIODO	ÉPOCA	FORMACIÓN	
		NOMBRE	SÍMBOLO
CUATERNARIO	Holoceno	Aluvión	Qal
		Coluvión, Talud, Derrumbes	Qc
	Pleistoceno	Terraza y Cono de Deyección	Qtf
TERCIARIO	Eoceno	Formación Carbonera	Tec
		Formación Mirador	Tem
	Paleoceno	Formación Los Cuervos	Tplc
		Formación Barco	Tpb
		Formación Colón-Mito Juan	KScm
CRETÁCICO	Superior	Formación La Luna	Ks/
		Formación Capacho	ksc
		Formación Aguardiente	Kia
	Inferior	Formación Tibú-Mercedes	Kitm
		Formación Río Negro	kirn
JURASICO	Superior	Formación Girón	Jg
DEVÓNICO	Medio	Formación Floresta	Dfm

Fuente: Tomado y editado de la Plancha Geológica 136, Ingeominas, 1984.

5.1.1 Devónico.

Formación Floresta (Dfm):

La descripción más detallada de la formación es la de Botero (1959) con ligeras modificaciones de Morales (1965, p.56-57) y es, de techo a base, la siguiente: Areniscas grises oscuras, de grano fino ferruginosas; arcillas pizarrosas de color ocre, violeta, gris claro, amarillo rojizo, amarillo y abigarrado, con niveles fosilíferos hacia la parte baja y alta; arcillas pizarrosas negras y areniscas gris clara, carmelita pálido, amarillo, de grano fino; conglomerado cuarzoso fino (Ingeominas, 1976).

➤ Miembro Tíbet:

El nombre fue propuesto por Cediell, F., 1969, en ponencia presentada en el primer congreso colombiano de geología. Está constituido principalmente por conglomerados muy espesos con guijos y bloques de areniscas blancas, limos y

arcillas laminadas rojizas, arcillas laminadas amarillo crema y filones de cuarzo (Ingeominas, 1976).

➤ **Miembro Arcilloso:**

Constituido de base techo por limolitas gris verdosas, pardo amarillentas cuando están alteradas, compactas, masivas, fosilíferas; lutitas gris amarillentas y rojizas con intercalaciones de limolitas grises de alteración violácea; lutitas gris claras, amarillentas y violáceas (Ingeominas, 1976).

5.1.2 Jurásico

Formación Girón (Jg):

El término "Girón series" fue creado por Eetner (1892) para designar un conjunto grueso de areniscas, conglomerados y limolitas rojas que se encuentran expuestas al W de Bucaramanga y deriva su nombre del pueblo de Girón. Estos conglomerados son masivos, lenticulares, areniscas conglomeráticas gris amarillentas a pardo rojizas y limolitas pardo rojizas (Ingeominas, 1976).

5.1.3 Cretácico

Formación Rio Negro (Kirn):

El nombre fue creado por Hedberg (1931), quien denominó "Rio Negro Conglomerate" a los depósitos del Cretáceo Inferior de la Sierra de Perijá, Zulia, Venezuela. Está compuesta por areniscas blancas a grises, grano medio a grueso gradando a conglomerados que presentan localmente muscovita y moteado de materia orgánica, intercalaciones de lutita negra localmente arenosa (Ingeominas, 1976).

Formación Tibú – Mercedes (Kitm):

Fueron originalmente considerada, por Notestein et al (1944). Las formaciones Tibú y Mercedes derivan su nombre del Rio Tibú y Valle Mercedes en el área de Concesión Barco (Ingeominas, 1976). Se divide en tres miembros:

- Miembro superior: Arcillas negras laminadas con intercalaciones arenáceas.
- Miembro intermedio: Calizas gris oscuras, compactas, fosilíferas.
- Miembro inferior: Areniscas blancas a cuarcíticas de grano fino a grueso (Ingeominas, 1984).

Formación Aguardiente (Kia):

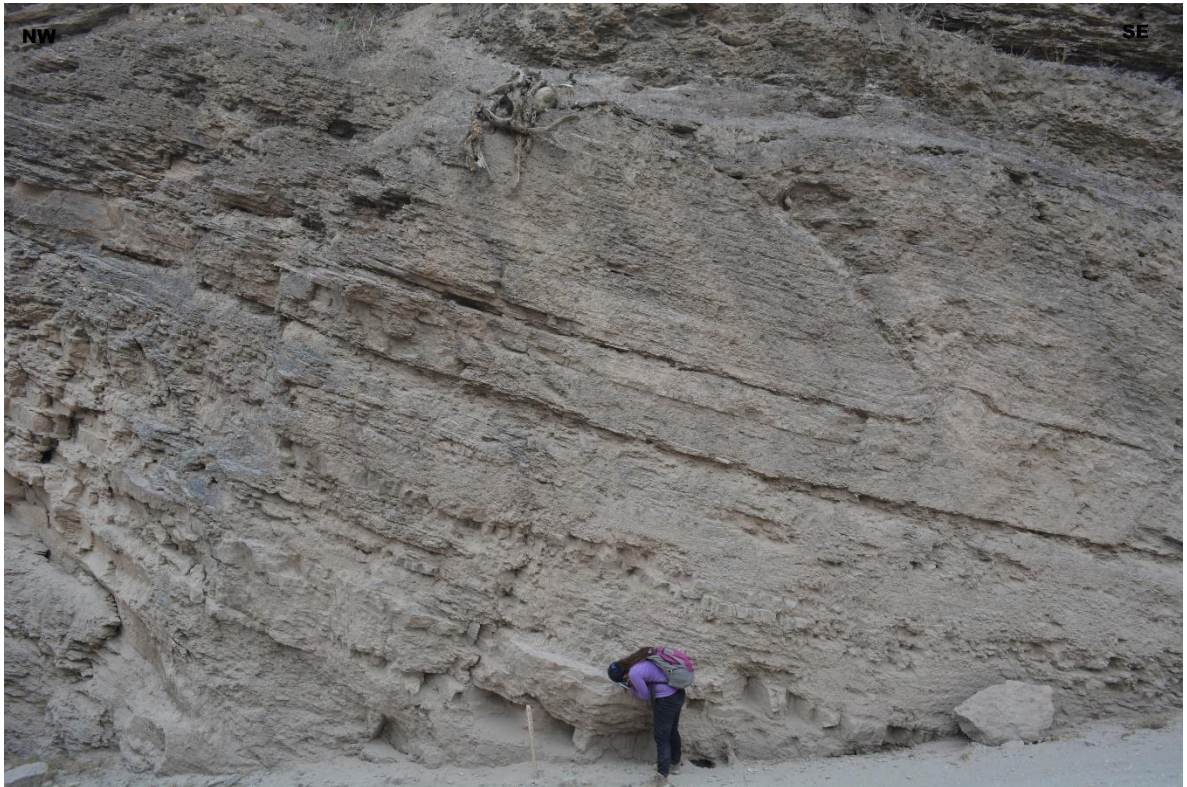
El nombre de la formación viene del filo del Aguardiente en la parte norte del domo de Santiago, al sur de la concesión Barco (Notestein et al 1944). Está constituida por areniscas blancas cuarcíticas, compactas, de grano fino a grueso, excepcionalmente conglomeráticas con delgados niveles de arcillas negras laminadas intercaladas (Ingeominas, 1976).

Formación Capacho (ksc):

El nombre Formación Capacho fue utilizado inicialmente por Sievers (1888), para designar afloramientos cerca al pueblo de Capacho Viejo (Independencia), Táchira, Venezuela (Ingeominas, 1976). Se constituye por Arcillas negras laminadas, calizas fosilíferas, calizas y areniscas calcáreas con exogira squamata, calizas con estructura "cone in cone" y areniscas formando un nivel importante hacia la base (Ingeominas, 1984).

Por la vía que conduce a Capitanejo, hacia el margen izquierdo, en la vereda La Playa se encontró un afloramiento compuesto por estratos inclinados compuestos por intercalaciones de arcillas negras laminadas, algunas calizas fosilíferas y areniscas calcáreas, las cuales corresponden a la Formación Capacho (Ksc). En este punto se tomaron datos estructurales de rumbo y buzamiento (310/25).

Figura 8. Formación Capacho (Ksc). Fotografía tomada hacia el NE desde el margen derecho de la vía que conduce hacia Capitanejo, vereda La Playa, Departamento de Santander. Coordenadas: X=1.149.415; Y=1.216.633; H=1046 m.



Hacia el margen derecho de la vía que conduce a Capitanejo en la Vereda La Playa, justo en el margen derecho del paso del río Chicamocha se observa una estructura anticlinal de grandes dimensiones. Esta estructura evidencia que el comportamiento estructural de esta zona obedece a esfuerzos compresivos principalmente.

Figura 9. Estructura anticlinal de la Formación Capacho (Ksc). Fotografía tomada hacia el SW desde el margen derecho de la vía que va hacia Capitanejo,

vereda La Playa, Departamento de Santander. Coordenadas: X=1.149.415; Y=1.216.633; H=1.046 m.



Formación La Luna (Ksl):

El término " La Luna Limestone" fue introducido por Garner(1926) para designar una sucesión de lutita calcárea, negra, fosilífera, con concreciones de calizas negras. El nombre se deriva de la quebrada La Luna, Sierra de Perijá, estado de Zulia. Notestein et al (1944) introdujeron el termino en Colombia y describen La Luna en la Concesión Barco como compuesta de caliza gris oscura con foraminíferos y lutita bituminosa calcárea con capas subordinadas y nódulos de chert negro (Ingeominas, 1984).

En la vereda Los Robles, ubicada en el Municipio de Enciso, Departamento de Santander, se encontró una secuencia sedimentaria, perteneciente a la Formación La Luna (Ksl) donde aprecia intercalación de calizas en bancos delgados, algunas

capas de chert delgadas y arcillas negras que están laminadas (**Figura 10**), el afloramiento se encuentra erosionado, altamente fracturado y meteorizado. Gracias a esto podemos afirmar que estamos en el miembro superior de la formación La Luna.

Figura 10. Miembro superior de la formación La Luna (Ksl). Fotografía tomada hacia el SW en la Vereda Los Robles, Municipio de Enciso, Santander. Coordenas: X=1.152.827; Y=1.229.341; H= 1.722 m.



Formación Colón y Mito Juan (KScm):

El nombre "Colon Shale" fue introducido a la literatura geológica por Liddle (1928), quien indica que el nombre deriva del anticlinal de Colón en el Estado de Táchira y del Distrito de Colón en el Estado de Zulia. Sutton le dió el nombre de formación. Consiste de lutita gris a gris oscura, ligeramente calcárea, que presenta una cantidad moderada de foraminíferos y lentes delgadas de arcilla ferruginosa, su espesor es de unos 900 m. En la base de la formación se encuentra una zona

arenosa glauconítica de poca potencia (2-5 m.) con foraminíferos removidos, restos de peces y coprolitos.

El nombre de Mito Juán aparece utilizado por primera vez por Garner (1926). La formación toma el nombre de la quebrada Mito Juán en el domo norte de Petrólea, Concesión Barco, cuadrángulo F-13, en donde consiste de lutitas gris verdosas con lutitas limosas a arenosas que aumentan el tamaño de grano a limolitas y areniscas de grano muy fino hacia el tope. En la parte superior de la formación, se encuentran unas pocas y delgadas capas de caliza ferruginosa, glauconítica, arenosa y fosilífera. El espesor de la formación es de 106 a 208 m (Ingeominas, 1984).

5.1.4 Terciario

Formación Barco (Tpb):

La sección tipo para la formación Barco está localizada en el filo Barco flanco oriental del Anticlinal Petrólea de la Concesión Barco. Allí la formación está constituida por 215 m. de arenisca (mitad a dos tercios de la sección), lutita y arcillolita intercaladas.

La arenisca, que alcanza hasta 20 m. de espesor en algunas capas, es gris, arcillosa, de grano muy fino a medio, bien calibrada, con estratificación cruzada, con abundantes bandas micáceas y carbonáceas. Debido al crecimiento secundario de cuarzo sobre los granos de arena, las areniscas del Barco son "chispeantes". Las lutitas y arcillolitas intercaladas son gris a gris oscuras, parcialmente limosas y carbonáceas. Lentes delgados y nódulos de arcilla ferruginosa son comunes y hacia la parte superior de la formación se encuentran generalmente mantos delgados de carbón (Ingeominas, 1984).

Hacia el margen izquierdo de la vía que conduce al municipio de San Miguel Santander, se encontró un afloramiento de rocas sedimentarias pertenecientes a

la Formación Barco (Tpb) donde se observan estratos inclinados con intercalaciones entre areniscas y lodolitas (**Figura 11**). Se identificó el límite de la Formación Barco (Tpb) y los depósitos coluviales (Qal), ya que hacia el Sur se presentan depósitos de terraza generados por el paso de la Quebrada de Vera. En este punto se tomaron datos de rumbo y buzamiento (320/45), y datos de diaclasamiento (124/50; 128/48)

Figura 11. Formación Barco. Fotografía tomada hacia el NE desde el margen derecho de la vía que conduce al municipio de San Miguel, Santander. Coordenadas: X=1.150.501; Y=1.219.971; H=1.132 m.



En este mismo punto se encontró la presencia de estrías de falla, como se observa en la **Figura 12**, (dato estructural: 231/80), lo cual es importante para corroborar información anterior donde se expone el paso de una falla, justo en la dirección de la Quebrada de Vera. Según Barragan y Forero (2014), corresponde a la Falla Tunebo.

Figura 12. Estrías de falla en la Formación Barco (Tpb). Fotografía tomada hacia el N en Margen izquierdo de la vía que conduce al Municipio de San Miguel, Santander, que evidencian el paso de la falla Tunebo. Coordenadas: X=1.150.501; Y=1.219.971; H=1.132 m.



Formación Los cuervos (Tplc):

El nombre de la formación se deriva de la quebrada Los cuervos, afluente del Rio Catatumbo, en donde está localizada la sección tipo. Allí la formación consta de arcillolitas y lutitas con escasas capas de arenisca; la parte inferior (75 m.) es

caracterizada por la presencia de 8 a 10 mantos de carbón en una secuencia de lutita gris oscura carbonácea, arcillolita intercalada con limonita micácea y arenisca de grano fino. Encima de la sección carbonífera se encuentran arcillolitas usualmente sideríticas de color gris a gris verdoso y parcialmente limosas con escasas capas de arenisca arcillosa.

Es notorio el “moteo” de las arcillolitas, siendo más pronunciado hacia la parte superior con colores rojos, amarillo y púrpura (Ingeominas, 1984).

Formación Mirador (Tem):

El nombre de Formación Mirador se deriva del cerro Mirador en el Anticlinal Tarra del Distrito Colón, Zulia, Venezuela. La formación está constituida por areniscas con capas conglomeráticas y escasas y delgadas intercalaciones de lutita gris púrpura y limolita.

Las areniscas son de grano fino a grueso, color claro, limpias, masivas y los guijos de los conglomerados son de cuarzo. Una intercalación de la lutita con algo de carbón ocurre hacia la parte media. En la parte inferior las areniscas son menos limpias y de estratificación más delgada. La estratificación cruzada y las marcas de oleaje son comunes dentro de la formación (Ingeominas, 1984).

Formación Carbonera (Tec):

Esta formación deriva su nombre de la Quebrada La Carbonera, en el Flanco Oriental del Anticlinal Petrólea de la Concesión Barco. Allí la formación consiste de: arcillolita gris a gris verdosa y marrón y arenisca generalmente arcillosa, asociada con carbones en la parte inferior y superior (Ingeominas, 1984).

En el margen derecho de la Vía principal que conduce del municipio de Enciso a san José de Miranda, junto al puente del río Servitá, se encuentra un afloramiento compuesto principalmente por intercalaciones de areniscas de grano fino con

arcillas dispuestas de forma casi vertical pertenecientes a la Formación Carbonera (Tec), como se observa en las **Figuras 13 y 14**.

Figura 13. Formación Carbonera (Tec). Fotografía tomada hacia el SW desde el Margen izquierdo de la vía que conduce de Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.151.335; Y=1.227.320; H=1.386 m.



En este punto se tomaron datos estructurales de rumbo y buzamiento, además de datos de diaclasas.

Dato estructural: 350/8

Diaclasas: 28/50, 25/43.

Figura 14. Formación Carbonera (Tec). Fotografía tomada hacia el SW desde el margen derecho de la vía que conduce de Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.151.335; Y=1.227.320; H=1.386 m.



En el mismo afloramiento de la Formación Carbonera (Tec) se registró un pliegue con alto grado de meteorización y diaclasamiento (**Figura 15**), las capas se encuentran casi verticales, lo que evidencia esfuerzos de tipo compresivo provocados probablemente por el paso de la falla Servitá.

Figura 15. Pliegue en la Formación Carbonera (Tec). Fotografía tomada hacia el NE desde el margen derecho de la vía que conduce del municipio de Enciso a San José de Miranda, se observa un producto de esfuerzos compresivos causado probablemente por el paso de la falla Servitá. Coordenadas: X=1.151.335; Y=1.227.320; H=1.386 m.



5.1.5 Depósitos Cuaternarios

Depósitos de Terraza y Cono de Deyección (Qt_f):

En el área estudiada pueden distinguirse a grandes rasgos tres tipos principales de terrazas: Terrazas pequeñas modernas en los valles actuales de los ríos principales; restos pequeños de terrazas que se presentan a diferentes alturas con relación al valle actual de los ríos antes mencionados, alcanzando algunos de ellos a situarse a 800 m. por encima del nivel actual del río, y que representan los sucesivos cambios de nivel base de los ríos y son los testigos de los sucesivos movimientos de elevación de la cordillera durante el periodo cuaternario.

En la zona de estudio algunos de los depósitos de terraza aluvial se encuentran localizados hacia los márgenes del Río Chicamocha, y se generan debido a procesos erosivos y de acumulación de material sobre la antigua llanura de inundación (**Ver Figura 18**).

Depósitos coluviales, Talud, Derrumbes (Qc):

Consisten de depósitos de gravedad que contienen fragmentos angulares de roca e incluyen depósitos de talud, derrubios y material de avalancha, (Ingeominas, 1984). Se les considera los tipos de depósitos más inestables en taludes y laderas (SGC, 2013).

Por la vía que conduce hacia el municipio de Capitanejo margen izquierdo de la vía se observa un depósito de tipo coluvial, originado a partir de procesos hidrogravitacionales, probablemente producto de un antiguo movimiento en masa, como se observa en la **Figura 16**.

Figura 16. Depósito coluvial (Qc). Fotografía tomada hacia el NW desde el margen izquierdo de la vía que conduce a capitanejo, Santander. Coordenadas: X=1.149.773; Y=1.216.633; H=1.046 m.



Depósitos Aluviales (Qal):

Se incluyen bajo la denominación de depósitos aluviales a los materiales depositados en los valles actuales de los ríos y quebradas mayores. Algunos de ellos son amplios y constituyen la llanura aluvial del río.

Localmente (Río Chicamocha, en los alrededores de Capitanejo), conos de deyección disectados por el drenaje actual fueron incluidos para su cartografía, dentro de los depósitos aluviales (Ingeominas, 1984).

Por la vía que conduce al municipio de Enciso Santander, desviando por un camino a mano izquierda que conduce hacia el río Servitá, justo en donde se encuentra un escarpe de terraza, se registró un afloramiento compuesto principalmente por material detrítico (arenas y gravas), como se observa en la

Figura 17. Estos materiales han sido transportados por el río Servitá y posteriormente depositados formando parte de los Depósitos aluviales (Qal) presentes en la zona de estudio.

Figura 17. Depósito aluvial (Qal). Fotografía tomada hacia el NW por el camino que conduce al río Servitá. Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.151.347; Y=1.22.240; H=1.478 m.



Subiendo por la vía que conduce de Capitanejo covarachía, hacia el margen derecho se observa una panorámica en la que se muestran los depósitos de cauce y llanura aluvial generados por el cauce del Río Chicamocha. Se observan las barras compuestas generadas por las fluctuaciones en el cauce del río. Estas barras hacen parte de los depósitos generados por el cauce y debido a que en

épocas de sequía el caudal del río disminuye y estas barras permanecen casi que sin ser afectadas por las corrientes.

En esta imagen también se pueden observar los depósitos de terraza aluvial, los cuales se encuentran localizados hacia los márgenes del río, y se generan debido a procesos erosivos y de acumulación de material sobre la antigua llanura de inundación.

Figura 18. Depósitos de cauce y llanura aluvial y los depósitos de terraza aluvial. Panorámica tomada hacia el NE desde la vía Capitanejo-Covarachía. Coordenadas: X=1.151.71; Y=1.214.096; H=1.217 m.



5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Tres grandes cinturones orogénicos son el resultado de la compleja interacción de las placas Nazca, Caribe, y América del Sur desde finales del Cretácico: la Cordillera Occidental, Cordillera central, y la Cordillera Oriental, la cual se bifurca hacia el norte en el macizo Santander – Rango de Perijá y Andes de Mérida.

La Cordillera Oriental se interpreta como una amplia cuenca extensional del Cretácico que se formó durante al menos dos eventos de estiramiento, y que se invirtió tectónicamente durante el Cenozoico. El flanco oriental de la Cordillera Oriental de Colombia expone contraste estructural entre rocas altamente deformadas a lo largo de una cinta plegable y menos deformada en la Cuenca de antepaís. Fallas normales del Mesozoico, como el sistema de fallas de Guaicaramo en las estribaciones de los llanos centrales, se han considerado ser el principal límite de esos estilos estructurales (Bayona G et al, Jaramillo 2008).

Una compleja geología se observa en la parte norte de la Cordillera Oriental de Colombia, la geología de la región puede ser resumen de múltiples tendencias NW-SE bloques del basamento precámbrico cubiertos por secuencias metasedimentarias del Paleozoico, Mesozoico y Terciario Inferior.

Macizo de Santander:

El Macizo de Santander expone ampliamente el basamento andino "viejo" y estilo limitado hacia sus cuencas de "antepaís" por fallas inversas mayores. Fallas más Internas, aunque con buzamientos fuertes, pueden clasificarse como fallas normales que hundieron la cobertera sedimentaria a largo de semi - grabenes. El patrón de estas fallas esta heredado en gran medida a partir de una tectónica jurásica de extensión. La tectónica extensiva Neogena puede integrarse a un modelo de levantamiento vertical, que por el arreglo en abanico de sus fallas indujo un componente de dilatación lateral (Kammer, 1993).

Se compone de rocas predominantemente metamórficas (de protolitos tanto sedimentarios como ígneos), las cuales son intruidas por diversos cuerpos ígneos de composición mayoritariamente acida a intermedia. Sobre los flancos del Macizo de Santander y sus fosas (depresiones) tectónicas, afloran rocas sedimentarias de edades paleozoicas, Mesozoicas y Cenozoicas (Barragán y Forero, 2014).

En el terreno elevado que se extiende al sur y al este del Macizo de Santander, las rocas ígneas y metamórficas se presentan en dos grandes áreas infrayaciendo a rocas sedimentarias que están preservadas en lo que parecen ser cuencas estructurales o áreas complejamente falladas que se hundieron y luego fueron elevadas a sus actuales posiciones ; estas cuencas estructurales de rumbo norte, están separadas por la Falla Regional Servitá; la Cuenca occidental (Cuenca estructural de Málaga contiene rocas sedimentarias que abarcan desde el Devónico al Cretáceo Superior y está fallada de forma compleja, mientras que las rocas de la cuenca oriental (Cuenca estructural de Cerrito) varían desde el Cretácico inferior al Eoceno y han sufrido plegamiento compresional más intenso hacia el oeste (Barragan y Forero, 2014).

Sinclinal del Servitá:

La zona de trabajo abarca el Valle del Rio Servitá, donde se observa una gran estructura regional denominada Sinclinal del Servitá, la cual se desarrolla en dirección N-S, con una geometría asimétrica y fallamiento cerca al núcleo.

El flanco oeste del sinclinal está cortado transversalmente por la Falla del Servitá al este de San José de Miranda, y se caracteriza por estar invertido en casi toda su extensión, inversión debida a la falla mencionada; mientras que en el flanco este, presenta buzamientos fuertes, entre 40° y 60°, pero aparece cortado por fallas transversales que lo delimitan por el norte, poniendo en contacto el flanco Paleógeno-Neógeno con sedimentos Cretácicos; por otra parte, hacia el sur, el sinclinal es cortado por varias fallas menores, algunas claramente transversales, las cuales permiten un cambio en la dirección del eje sinclinal, que toma un rumbo noroeste – sureste. En el flanco este del Sinclinal del Servitá se encuentran sedimentos Cretáceos cortados por una serie de fallas de dirección N-S y NW-SE, al igual que varios replegamientos menores en dirección noroeste, oblicua a la dirección general de las estructuras (Barragán y Forero, 2014).

Falla Del Chicamocha:

La Falla del Chicamocha es una fractura bastante rectilínea, localizada hacia el sur de Capitanejo hasta su unión con la falla inversa de Soapaga; esta falla entre Capitanejo y la unión con la falla de Soapaga al sur de Puente Pinzón, no presenta mayor salto y pone en contacto sedimentos Cretácicos a ambos lados de la falla. Al sur de la unión de la Falla Servitá con la Falla de Soapaga, se ven afectados sedimentos Paleógenos-Neógenos y parece ser que la falla inversa de Soapaga termina contra la falla del Chicamocha, por cuando a partir de dicha unión hacia el norte no se observa signo alguno de fallamiento inverso, sino por el contrario, una traza rectilínea (Barragán y Forero, 2014).

Falla del Servitá:

Hacia la zona de estudio, la falla de Servitá, pone en contacto rocas del Cretácico medio al este, con rocas de la Formación Girón y de Floresta al oeste, hasta unirse al sur con la falla Chicamocha, que pone en contacto la secuencia sedimentaria con el Macizo de Santander. Hacia el sur de Málaga la Falla es un poco más sinuosa, mostrando cierta inclinación hacia el oeste, cortando simultáneamente las estructuras transversales, como se observa en el mapa de la zona de estudio. De acuerdo con lo anterior es posible afirmar que esta gran estructura, constituye uno de los rasgos estructurales más notables de la región García Rovira, al oriente del Departamento de Santander; teniendo una extensión aproximada de 65 km y prolongándose al sur en Boyacá y al norte en el territorio de Norte de Santander; esta es una falla inversa con dirección predominante norte-sur (Barragán y Forero, 2014).

Adicionalmente Kammer (1993) y Corredor (2003), agregan que la formación de esta falla se atribuye a las estructuras generadas durante la inversión de la cuenca extensional Triásico – Jurásico en el Eoceno temprano y que posteriormente fue afectada por los esfuerzos compresivos ocurridos durante la Orogenia Andina, los cuales la reactivaron.

Hacia el sur del municipio de Miranda, aparece una falla satélite de la Falla del Servitá, o posiblemente esta se abre en dos; una que separa el Paleógeno-Neógeno del Cretácico, y la que sirve de límite entre el Macizo de Santander y la franja sedimentaria; esta última parece estar más vertical y ser la continuación sur de la Falla del Servitá; mientras que la primera por el contrario, es la que se inclina hacia el oeste y da origen a vergencias hacia el este, causando inclusive inversiones en los sedimentos Cretácicos y Paleógenos-Neógenos al sureste de San José de Miranda (Barragán y Forero, 2014).

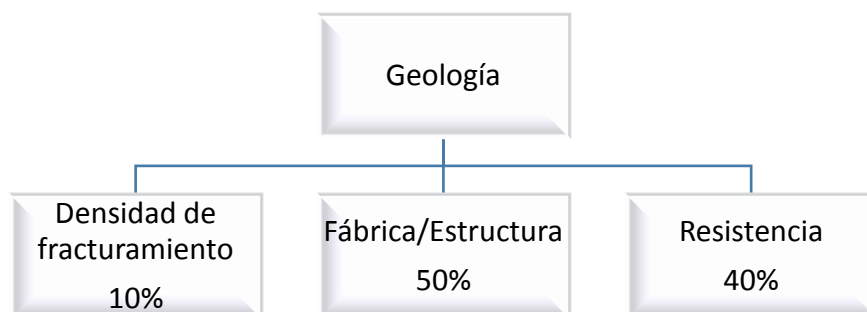
6. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES PARA EL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD

6.1 GEOLOGÍA

Para el proceso de refinamiento y actualización del mapa Geológico se tiene como referencia la Plancha 136 Málaga a escala 1:100.000 (Ingeominas, 1984), la cual en general contiene información litoestratigráfica y estructural, que permite la modificación y caracterización de las unidades cartografiadas de acuerdo con la escala del estudio. Dentro de una Formación la distribución espacial de los tipos litológicos es uniforme y generalizada y no muestran necesariamente el estado o condición física de los materiales (SGC, 2013).

En la Metodología que utiliza el Servicio Geológico se incluyen como variables de la Geología la densidad de fracturamiento, Fábrica o Estructura y Resistencia y se les asigna una calificación (Figura 19). En este trabajo se incluyen dentro de estas variables los Depósitos Geológicos por lo cual es necesario realizar un recalcu para determinar la variable Geología (Figura 19).

Figura 19. Diagrama de variables dentro de la temática Geología con su respectiva ponderación.



Fuente: SGC, 2013.

Fuente: Tomado y modificado de SGC, 2013.

6.1.1 Densidad de fracturamiento La variable densidad de fracturamiento se genera a partir de la información de fallas y lineamientos estructurales, así como los ejes de pliegues que afectan las rocas, contenidos en la Plancha 136 Málaga. Para el cálculo de esta variable y la asignación de las calificaciones se tuvo en cuenta el procedimiento enunciado en el “Documento Metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000” (SGC, 2013).

Tabla 2. Rangos de densidad y su clasificación de susceptibilidad a nivel nacional

Densidad de Fracturamiento	Calificación
Muy baja	1
Baja	2
Media	3
Alta	4
Muy alta	5

Fuente: SGC, 2013.

6.1.2 Fabrica/estructura. El término “fábrica” se refiere al arreglo de partículas, grupos de partículas y espacios vacíos en un suelo. El término “estructura” es utilizado por algunos como sinónimo de fábrica, sin embargo, la estructura tiene un significado más amplio, que integra los efectos combinados de la fábrica, composición y fuerzas entre partículas (SGC, 2013).

A continuación se presentan la **Tabla 3** las características generales según el tipo de textura/fabrica y en la **Tabla 4** la calificación propuesta para los diferentes tipos de rocas según su Textura/fábrica.

Tabla 3. Clasificación de la Textura/Fábrica de las rocas.

Textura/Fábrica	Características
Cristalina Masiva	En rocas de cualquier origen (ígneo, metamórfico o sedimentario) cuyas partículas minerales están entrelazadas y con orientación aleatoria. Corresponde a las rocas más resistentes y menos deformables, salvo las rocas volcánicas cuya calidad es un poco dispersa según sean porosas o no lo sean. Ejemplos: granitos, basaltos, calizas, chert, cuarcitas y mármoles.
Cristalina Foliada y Rocas de falla	En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, con una orientación preferencial a lo largo de la cual las rocas son menos resistentes Su calidad se dispersa como consecuencia de su fábrica orientada, es decir, por los planos de esquistosidad y foliación. Ejemplos: Pizarras, filitas, esquistos, milonitas.
Cristalinas Bandedas	En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, conformando bandas composicionales con alguna influencia direccional. Ejemplo: Neis.
Clásticas Cementadas	En rocas con partículas cementadas, con resistencia y deformación variable, dependiendo de la calidad del material cementante, la relación matriz-clastos y el grado de empaquetamiento general que posea. Ejemplos: areniscas, conglomerados.
Clásticas Consolidadas	En estas rocas se presenta comportamiento variable esfuerzo-deformación, con direccionalidad de sus propiedades mecánicas. La resistencia se acrecienta con el grado de consolidación diagenética. Ejemplos: arcillolitas, lodolitas, shales.

Fuente: SGC, 2013

Tabla 4. Calificación de las rocas dependiendo de su Textura/Fábrica

Fabrica/estructura	
Atributo	Propuesta de Calificación
N/A	0
Cristalina masiva	1
Cristalinas bandedas	2
Clásticas cementadas	3
Clásticas consolidadas	4
Cristalina foliada y rocas de falla	5

Fuente: Tomado de SGC, 2013

6.1.3 Resistencia. Es la capacidad de las rocas, minerales y materiales de oponerse a la deformación ante los diferentes tipos de esfuerzos, tales como erosivos, cortantes, elásticos, presiones, etc (Dávila, 2011).

Tomando como base la plancha 136 Málaga a escala 1:100.000 generada por el Servicio Geológico Colombiano, se enlistan los diferentes tipos de rocas que afloran en el área de estudio y se le asignan rangos de resistencia basados en las Tabla 5.

Tabla 5. Tabla de Calificación de las rocas dependiendo de su Resistencia.

Grado	Término	Propuesta de calificación
R6	Extremadamente dura	1
R5	Muy dura	1
R4	Dura	2
R3	Moderadamente dura	3
R2	Blanda	4
R1	Muy blanda	5
R0	Extremadamente blanda	5

Fuente: Tomado de SGC, 2013

Los rangos de referencia que se adoptan para determinar la resistencia de las Rocas son los de Hooke 1996, como se muestra en la **Tabla 6**, y se basan en información documentada y datos de resistencia a nivel nacional e internacional.

Tabla 6. Categorías de resistencia a la compresión simple de las rocas según Hooke, 1996.

Grade	Term	Uniaxial comp. Strength (Mpa)	Point Load Index (Mpa)	Field estimate of strength	Examples
R6	Extremely Strong	>250	>10	Specimen can only be chipped with a geological hammer	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R5	Very Strong	100-250	4-10,0	Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it	Amphibolite, sandstone, basalt, gabro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff
R4	Strong	50-100	2-4,0	Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale
R3	Medium Strong	25-50	1-2,0	Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone
R2	Weak	5-25,0	-	Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer	Chalk, rock salt, potash
R1	Very weak	1-5,0	-	Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife	Highly weathered or altered rock
R0	Extremely weak	0.25-1	-	Indented by thumbnail	Stiff fault gouge

Fuente: Tomado de SGC, 2013

6.1.4 Depósitos. Los depósitos se clasifican de acuerdo al ambiente Genético. Según la clasificación que propone el SGC, (2013) en el Documento metodológico, en el área de estudio se evidencian depósitos coluviales, de terrazas sobreelevadas, depósitos de cauce y llanura aluvial y depósitos de terraza aluvial.

Depósito coluvial: Corresponden a depósitos de ladera provenientes de antiguos movimientos en masa, Se originan por procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales, en suelos saturados y no saturados. Los coluviones son depósitos heterogéneos,

matriz soportados a clastos soportados, sueltos, que se caracterizan por presentar fragmentos con bloques angulosos, y no han presentado movimientos o reactivaciones recientemente. Las geoformas asociada a este depósito corresponden a Glacis de acumulación y Conos de deyección.

Depósitos de terrazas sobreelevadas: Depósitos subrecientes de origen fluvial asociados a planicies y terrazas antiguas que difieren en altura o distancia de los cauces actuales. Corresponden a depósitos clasto soportados cuando están constituidos por gravas y bloques subredondeados de tamaños disimétricos, y matriz soportados cuando predomina la matriz generalmente de textura limo arenosa. Son suelos altamente permeables, moderadamente firmes y fácilmente Deleznables en los escarpes de las terrazas que suelen generar. De acuerdo a su posición geográfica están asociados a coluviones y a terrazas aluviales. La geoforma asociada es este depósito corresponde a Terraza sobreelevada o colgada.

Depósitos de cauce y llanura aluvial: Depósitos producto de la erosión y depositación de materiales asociados a la dinámica de ríos tanto en épocas de gran caudal como en épocas secas. Los depósitos recientes, dejados por corrientes mayores en llanuras relativamente angostas, contiguos a ríos trenzados sometidos a la inundación, están constituidos principalmente por cantos, gravas y arenas. Conforman barras de meandro que en sus partes bajas están cubiertas por las aguas de los afluentes. Cuando las barras permanecen un tiempo relativamente largo sin ser afectadas por las corrientes o intervenidas, pueden desarrollar vegetación, aumentando la resistencia al socavamiento lateral y provocando la divagación del cauce dentro de la llanura aluvial.

Depósitos de Terraza Aluvial: Corresponden a los depósitos aluviales, localizados hacia las márgenes de los ríos principales y secundarios, como producto de la acumulación sobre la antigua planicie de inundación divagante,

asociadas a las márgenes de los ríos principales. Son producto de la erosión, depositación e incisión fluvial, en épocas recientes y subrecientes. En estos depósitos los sedimentos se acumulan en forma escalonada a ambos lados del curso de un río, cuyo cauce se va profundizando con el tiempo, formando terrazas.

Tabla 7. Valoración de Susceptibilidad de los Depósitos.

Origen - Mecanismo	Nombre del depósito	Susceptibilidad
Aluvial	Depositos de cauce y llanuras aluviales	No se involucran en problemas de estabilidad de taludes y laderas
	Depósitos de terrazas aluviales	De estos tipos de depósitos las terrazas sobreelevadas se involucran con frecuencia en movimientos en masa
	Depósitos de abanicos aluviales	Presentes en el fondo de muchos rios; por lo general son depositos retrabajados y muy susceptibles a inestabilidad en general y a socavacion lateral
Gravitacional	Depósitos coluviales	Se les considera los tipos de depósitos más inestables en taludes y laderas
Lacustre	Depósitos paludales	No se involucran en problemas de estabilidad de taludes y laderas
Glacial	Depósitos glaciales y glacio – fluviales	Estos tipos de depósito se involucran con frecuencia en movimientos en masa en las partes altas de las cordilleras
Volcánico	Depósitos de cenizas y lapilli	Cubren extensas zonas de la región cafetera y en muchos lugares estan sobre-elevados. Son muy inestables
	Flujos vulcanoclásticos	Se involucran frecuentemente procesos de inestabilidad, y son producto de explosiones volcánicas que arrastran gran cantidad de bloques formando depósitos de tipo lahar; en ocasiones se desarrollan abanicos extensos, ejemplo Glacis del Quindío
Eólico	Depósitos eólicos (Dunas)	Generalmente son susceptibles a la erosión, pueden estar afectados por tubificación.
Marino	Depósitos de gravas y arenas, lodos ricos en materia organica	Son susceptibles a movimientos en masa en el caso que estén expuestos, lo cual no es frecuente

Fuente: Tomado de SGC, 2013.

Tabla 8. Calificación de depósitos presentes en el área de estudio.

AMBIENTE	DEPÓSITO	GEOFORMA ASOCIADA	EQUIVALENTE GEOLÓGICO	CALIFICACION
Denudacional	Depósitos coluviales	Cono y lobulo coluvial y de solifluxión y conos de deyección, Glacis de acumulación	Qc/Qd/Q2v/Qt1/Q/Q2c/Qdp/Qco l/Qdt/Qac/Qtf/Qgd1/Qgd2	5
	Depósitos de detritos	Cono o lobulo de deslizamiento traslacional de detritos, cono o lobulo de deslizamiento rotacional de detritos		4
	Depósitos de tierras	Cono o lobulo de deslizamiento traslacional de tierras, cono o lobulo de deslizamiento rotacional de tierras	Qco	5
	Depósitos de terraza sobre elevada	Terraza sobreelevada o colgada	Qt1	4
	Depósitos de costras ferruginosas o calcáreas	Planos aterrazados o duricostras, terrazas o mesas calcretas o silicretas	Qcf	1
	Depósitos de lodos	Cono o lóbulo de flujo de lodo	Qfl	5
Fluvial y Lagunar	Depósitos de cauce y llanura aluvial	Cauce activo y abandonado, albardones, barras, cuencas de decantación, lagos en media luna, lagunas naturales, meandros abandonados, planicie o llanura de inundación, planicies y deltas lacustrinos, planos anegadizos, planos y artesas lagunares	Qal2/Qac/Qar/Qal/Q2-al/Qalu-Qal/Q2cal/Qo1/Qa/Q2-al di/Qb/Qall/Q2-alpr/Qlal/Qo2/Q2alh/Q2alca	1
	Depósitos de terrazas aluvial	Terrazas de erosión, terrazas de acumulación subreciente, terrazas de acumulación antigua, terrazas de depositación y escarpes de terraza	Qt/Qt2/Q2t2	2
	Depósitos paudales	Artesas lagunares y planos anegadizos	Q2m/Q2alp	1
	Depósitos lagunares	Lagos en media luna y meandros abandonados.	Q2l/Ql/Q2l/Qfl/Qlp	1
	Depósitos de abanicos aluviales	Abanicos fluvio-torrenciales, conos de deyección, deltas de desborde natural, deltas lacustrinos y escarpes de abanicos fluviales	Qab/Q2cal/Qc/Q1ab/Q2g/Q1ab/Qaa/Qap1/Qcal	3

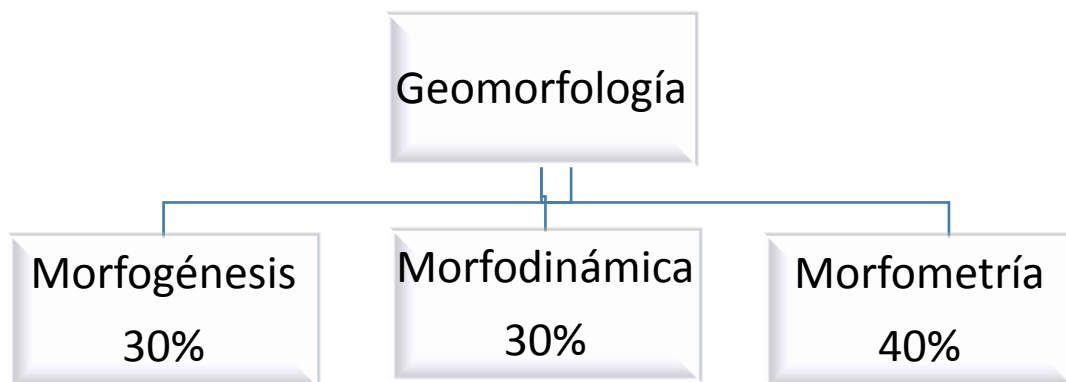
Fuente: Tomado de SGC, 2013.

6.2 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología involucra y relaciona al paisaje con los procesos que le dieron Origen y sus condiciones ambientales. Por lo tanto para lograr una descripción y

caracterización adecuada es necesario representarla y transmitirla en forma gráfica o de mapas (Ingeominas, 2005). Para lograr una adecuada cartografía e interpretación geomorfológica se deben incluir los tres atributos que la caracterizan, (**Figura 20**).

Figura 20. Esquema de la Clasificación por Geomorfología con su respectiva ponderación.



Fuente: Tomado de SGC, 2013.

6.2.1 Morfogénesis. La morfogénesis corresponde al origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno. La información morfogenética es representada en forma de subunidades geomofológicas; los parámetros de evaluación morfogenética permiten caracterizar una geoforma en su orden espacial individual y en su entorno (SGC, 2013).

La calificación de la morfogénesis se da sobre cada geoforma, garantizando una valoración particular de los atributos morfogenéticos: Procesos genéticos, modelado del relieve y ambiente de formación, los cuales, a pesar de tener un ambiente en común, pueden variar entre sí y modificar las condiciones de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. En el caso de identificarse geoformas cuyo atributo morfogenético está definido por más de un ambiente, se debe considerar la calificación de la morfogénesis más relevante y que defina su comportamiento de susceptibilidad ante la ocurrencia de movimientos en masa (SGC, 2013).

En la **Tabla 9** se muestran los criterios para la calificación del atributo morfogenético de las unidades geomorfológicas, tomada directamente del “Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000”.

Tabla 9. Atributos para la calificación de unidades Geomorfológicas.

Ambiente	Origen	Proceso genético	Modelado		Rango de calificación	
			Agradación	Degradación	Agradación	Degradación
Costero	0	1	1	0	2	1
Fluvial	0	1	1	0	2	1
Eólico	1	1	1	0	3	2
Kárstico	1	1	1	0	3	2
Volcánico	2	0	1	0	3	2
Antrópico	2	1	1	0	4	3
Denudacional	2	1	1	0	4	3
Glacial	2	1	1	0	4	3
Estructural	3	0	1	0	4	3

Exógeno	1	Agradacional	1
Endógeno	0	Degradacional	0

Fuente: SGC, 2013.

6.2.1.1 Descripción de Unidades Morfogenéticas. Ambientes morfogenéticos:

Las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se formaron determinados tipos de geoformas se definen como ambiente morfogenético. Se determina por medio de la interpretación de los diferentes procesos geomorfológicos en la base a las diversas expresiones del terreno, que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las geoformas (Rincon, 2014). Los principales ambientes morfogenéticos presentes en la zona son fluvial - lagunar, estructural y denudacional.

Es importante aclarar, que se empleó el Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC, (2013) para la definición de ambientes y unidades morfogenéticas.

Ambiente Fluvial – Lagunar:

Las geoformas de origen fluvial y lagunar están originadas por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y acumulación o sedimentación de materiales en las zonas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera es posible encontrar geoformas aledañas a ríos y quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre (SGC, 2013).

Ambiente Estructural:

Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos, cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural al plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación (SGC, 2013).

Ambiente Denudacional:

Se refiere a la meteorización de las masas de rocas continentales expuestas y al desgaste del regolito resultante, por acción combinada de las fuerzas de desplazamiento y de los agentes geomorfológicos, con el consecuente remodelado y paulatina reducción de la superficie terrestre. El término tiene un sentido más amplio que el de erosión, por cuanto abarca la totalidad de los procesos que contribuyen a la degradación y reducción de los relieves iniciales, esto es: la meteorización, los movimientos en masa y la erosión en todas sus formas.

Son geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas morfoestructurales preexistentes y además crean nuevas geoformas por acumulación de sedimentos.

Tabla 10. Clasificación de las geoformas presentes en el área de trabajo de acuerdo a la génesis del ambiente.

AMBIENTE	UNIDAD	CÓDIGO	Area (m²)	Porcentaje %
Fluvial y Lagunar	Cauce aluvial	Fca	357224,053	0,287843244
	Cono de deyección	Fcdy	203181,89	0,163719474
	Escarpe de terraza de acumulación	Ftae	927036,719	0,746985691
	Plano o llanura de inundación	Fpi	2900942,36	2,337515212
	Terraza de acumulación	Fta	696987,415	0,561617049
	Terraza de acumulación sub-reciente	Ftas	45341,9231	0,036535519
	Terraza de acumulación antigua	Ftan	1478714,12	1,191515145
	Terraza de erosión	Fte	146093,914	0,117719246
	Cerro remanente o relicto	Dcrem	1980367,27	1,595736161

Denudacional	Cima	Dc	694780,62	0,559838862
	Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción	Dco	5003077,09	4,031368898
		Escarpe de erosión mayor	Deem	1707052,37
	Escarpe de erosión menor	Deeme	808296,626	0,65130755
	Ladera ondulada	Dlo	1298185,6	1,046049256
	Ladera erosiva	Dle	3830613,51	3,086623671
	Lomo denudado bajo de longitud larga	Dldebl	2713966,39	2,186854108
	Lomo residual	Dlres	277678,58	0,223747261
	Pedimentos	Dpd	134792,801	0,108613059
	Lomo denudado bajo de longitud corta	Dldebc	33331,0642	0,026857435
	Escarpe facetado	Def	83854,8325	0,06756837
	Lomo denudado bajo de longitud media	Dldebm	1787317,19	1,440180675
	Lomo denudado moderado de longitud larga	Dldeml	979638,02	0,789370657
	Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra	Dlfl	181694,885	0,146405721
	Estructural	Cerro estructural	Sce	1419609,38
Cornisa estructural		Scor	1457643,26	1,174536715
Escarpe de línea de falla		Slfe	803728,356	0,647626539
Escarpe de meseta		Sme	1092978,64	0,880698024
Espolon bajo de longitud larga		Sesbl	1463159,81	1,178981825
Espolon facetado bajo de longitud larga		Sefcbl	634575,236	0,511326695
Ladera contrapendiente		Slcp	36887802,8	29,72337588
Ladera contrapendiente de sierra homoclinal		Sshlc	2382169,09	1,91949918
Ladera estructural		Sle	15265536,2	12,30063155
Ladera estructural de sierra homoclinal		Sshle	589187,238	0,474754049
Sierra homoclinal		Ssh	1895599,95	1,527432532
Sierras y lomo de presión		Sslp	11632452,8	9,37317324

	Espolon facetado bajo de longitud media	Sefcbm	258025,635	0,207911352
	Meseta estructural	Sm	844335,64	0,68034699
	Ladera contrapendiente sierra anticlinal	Ssalc	1266594,99	1,020594236
	Ladera estructural de sierra anticlinal	Ssale	311661,315	0,251129797
	Lomo de falla	Slf	3738309,53	3,01224717

Fuente: Tomado y Modificado de SGC, 2014.

A continuación se describen las geoformas encontradas en la zona, basándonos en el glosario de unidades y subunidades geomorfológicas del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2014).

Ambiente Fluvial

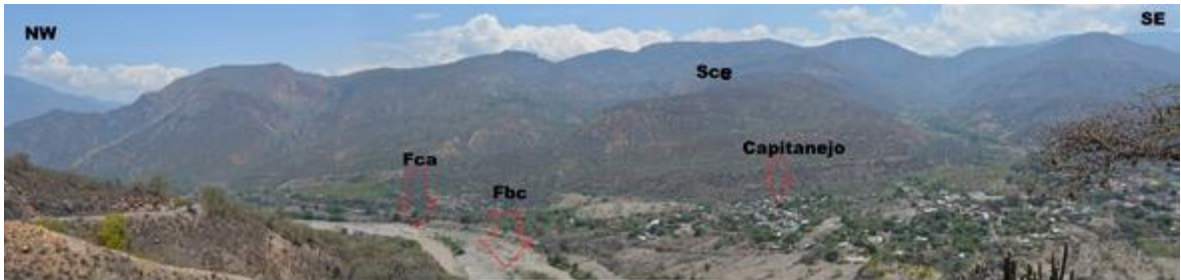
En este ambiente, cuyas cualidades generales fueron descritas anteriormente, se encontraron diversas geoformas representativas tales como cauces activos, conos de deyección, terrazas de acumulación antigua y sub-recientes con sus respectivos escarpes de terraza.

Cauce aluvial (Fca): Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales.

Estos cauces cuando recorren grandes distancias pueden formar lagunas y rápidos. Cuando las corrientes fluyen en zonas semiplanas a planas (llanura aluvial), los cauces son de tipo meándrico o divagante, como producto del cambio súbito de la dirección del flujo. Dependiendo la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trenzados, divergentes y otras unidades asociadas.

A lo largo del cauce del río Servitá, el cual atraviesa de norte a sur toda el área de interés, siendo el río más representativo de la zona, seguido del río Chicamocha (río en el cual desemboca el río Servitá), que se encuentra hacia el sur del área de trabajo, se lograron observar barras compuestas. Cabe mencionar que este río genera erosión por socavamiento de la pata de los taludes debido al margen y al cauce del río, contribuyendo así a la generación de movimientos en masa.

Figura 21. Cauce aluvial (Fca) del Río Chicamocha. Panorámica tomada hacia el NE en el Municipio de Capitanejo, Santander. Coordenadas: X= 1.151.791 Y=1.214.096; H=1217 m. Fca: Cauce aluvial; Fbc: Barra compuesta; Sce: Cerro estructural.



Barra compuesta (Fbc): Superficie o conjunto de barras unitarias que pueden alcanzar decenas a cientos de metros lateralmente y varios kilómetros longitudinales.

A lo largo del río Servitá se encontraron barras compuestas generadas probablemente por el amalgamamiento de varias barras longitudinales y puntuales, cuyo origen se debe a las fluctuaciones del cauce, el descenso y ascenso del mismo y los procesos erosivos y de depositación que allí intervienen.

Figura 22. Barra Compuesta (Fbc) en el cauce del río Chicamocha. . Panorámica tomada hacia el N desde la vía Capitanejo hacia Covarachía, Municipio de Capitanejo, Santander. Coordenadas: X= 1.151.791 Y=1.214.096; H=1217 m.



Cono de deyección (Fcdy): Superficie en forma de cono, con una inclinación en planta de 5° - 10° y decenas de metros de extensión. Se localiza en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios. Su depósito está constituido por arena, arcillas y grava, con espesores de materiales más gruesos hacia el ápice y más finos en la zona distal.

En la vía que conduce del Municipio de Enciso hacia San José de Miranda se observa una panorámica con la evidencia de un cono de deyección con índice de relieve bajo, de longitud corta y de ladera rectilínea, no presenta uso del suelo y su

cobertura es la mayoría vegetación herbácea y pastos. Se caracteriza por depósitos aluviales y se encuentra adyacente al paso del cauce del río Servitá

Figura 23. Cono de deyección (Fcdy) al margen izquierdo del cauce del río Servitá. Panorámica tomada hacia el N en la vía del Municipio de Enciso hacia San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X= 1.150.814; Y= 1.228.504; H=1563 m. Dco: Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión; Slfe: Escarpe de línea de falla.



Plano o llanura de inundación (Fpi): Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial. Esta geofoma se presenta claramente bordeando los cauces principales, como lo son el río Servitá y el río Chicamocha, en menor proporción se encuentra

bordeando pequeños cauces de riachuelos y quebradas. Debido a la época de sequía y por ende a la disminución en el cauce del río se puede observar la llanura de inundación en grandes proporciones.

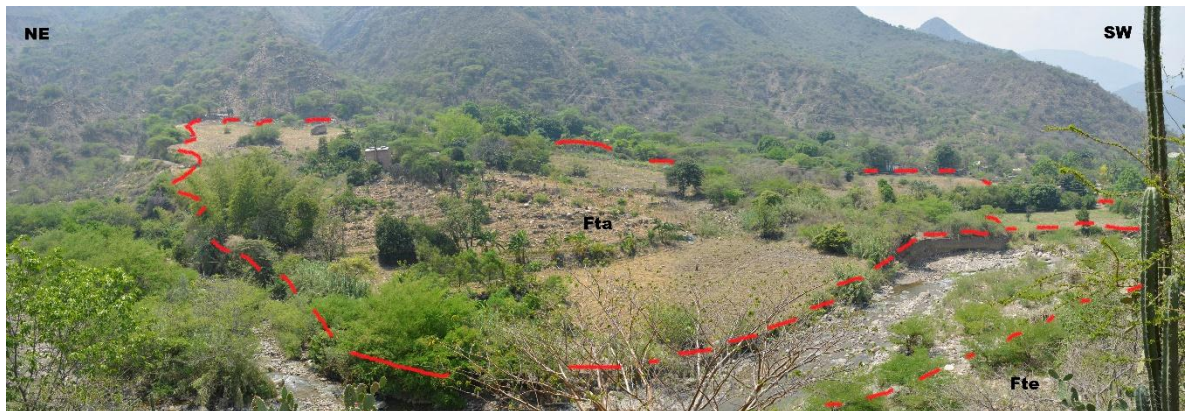
Figura 24. Plano o Llanura de inundación (Fpi). Panorámica tomada hacia el NE Sobre el puente Peña Colorada 1. Municipio de Capitanejo, Santander. Coordenadas: X= 1.150.064; Y=1.216.776; H=1054 m.



Terraza de acumulación (Fta): Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un río. Su origen es relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical.

Bajando por la vía del municipio de San Miguel a la vía principal que conduce hacia capitanejo, se observa una terraza de acumulación formada debido al paso del cauce de la Quebrada de Vera, esta terraza se compone principalmente por depósitos aluviales, constituido principalmente por gravas arenas, limos y arcillas, con disminución del tamaño a medida que se aleja del cauce del río.

Figura 25. Terraza de acumulación (Fta) al margen izquierdo de la Quebrada de Vera. Panorámica tomada hacia el SE por la vía que conduce del municipio de San Miguel a la vía principal hacia Capitanejo, Santander. Coordenadas: X=1.150.297; Y=1.219.940; H: 1149 m. Fte: Terraza de erosión.



Escarpe de terraza de acumulación (Ftae): Plano vertical a subvertical, escalonado, excavado en sedimentos aluviales que bordean las terrazas de acumulación. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce. Esta geoforma generada por el paso del cauce del río Servirá se observa principalmente hacia el borde de una terraza de acumulación antigua muy evidente en la zona, hacia la parte NE, en el municipio de Enciso. Se caracteriza principalmente por depósitos de tipo aluvial, y presenta procesos erosivos como surcos y carcavamientos y erosión de la pata del talud.

Figura 26. Escarpe de terraza de acumulación (Ftae) al margen izquierdo del río Servitá. Panorámica tomada hacia el W por la vía que va desde el Municipio de Enciso hacia San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.151.134; Y=1.226.904; H=1386 m. Ftae: Escarpe de terraza de acumulación Ftan: Terraza de acumulación antigua.



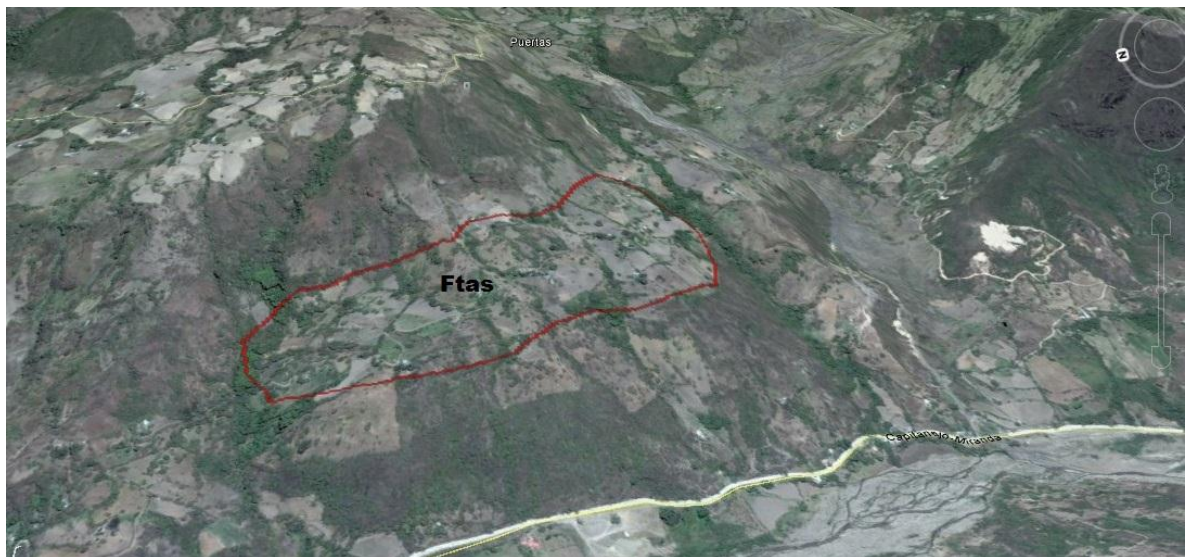
Terraza de acumulación antigua (Ftan). VER FIGURA 26 Superficie alomada en forma de abanico de extensión kilométrica, laderas moderadamente largas, cóncavas a convexas. Se caracterizan por presentar pendientes de 5° a 10° en las partes altas, limitadas por escarpes de disección en forma de “V” que localmente pueden alcanzar inclinaciones de 20°. De manera general, se presentan colgadas, inclinadas y discordantes sobre unidades antiguas. Su origen es relacionado a la disección y tectonismo de abanicos y planicies aluviales antiguas. Su depósito está constituido por gravas, arenas y arcillas.

Hacia el margen Este del cauce del río Servitá se registra una panorámica de una terraza de acumulación antigua, la cual presenta grandes dimensiones en el área de estudio, con una inclinación inclinación aproximada que tiene un máximo de cinco grados con un índice de relieve muy bajo, compuesta por depósitos cuaternarios de terraza, se observan usos del suelo como ganadería, agricultura y vivienda y su cobertura está representada por pastos en mayor porcentaje.

Terraza de acumulación sub-reciente (Ftas): Superficie plana a suavemente inclinada, remanente de terrazas sub-recientes de morfología ondulada, disectadas, localmente basculadas, con inclinaciones entre 3° a 5°, aunque algunos sectores pueden alcanzar los 10° donde se presenta limitada por escarpes de 5 a 20 m. Su origen es relacionado a la ampliación del valle de un río, al ganar importancia la erosión en sus márgenes. La superficie de la anterior llanura aluvial queda adosada a las márgenes del valle en forma de escalón o resalte topográfico que define la terraza. Pueden estar cubiertas por suelos arcillosos fluviales. Su depósito está constituido por arenas, arcillas e intercalaciones locales de grava fina.

Mediante interpretación geomorfológica se logra identificar una terraza de acumulación sub-reciente en inmediaciones al municipio de Enciso, en la Vereda Pecha Colorada, con inclinación aproximada de 3° a 5°, compuesta por depósitos cuaternarios de terraza. Usos del suelo principalmente ganadería y agricultura.

Figura 27. Terraza de acumulación sub-reciente (Ftas). Municipio de Enciso, Santander. Vereda Peña Colorada.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Terraza de erosión (Fte): VER FIGURA 25 Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, limitada por escarpes de diferente altura, que se presenta en forma alterna no pareada, a lo largo del cauce de un río. Su origen es relacionado a procesos de erosión aluvial lateral y procesos de levantamiento tectónico que afectan el sustrato rocoso. Generalmente contiene una delgada capa de grava que cubre la superficie plana.

Ambiente denudacional:

Las geoformas presentes en este ambiente son aquellas originadas por procesos de meteorización, erosión, transporte y deposición de materiales por parte de agentes pluviales, gravitacionales o ambos, actuando sobre las geoformas preexistentes y modificándolas en diferentes grados de intensidad. Estas unidades se encuentran a lo largo y ancho de la zona de estudio remodelando y reduciendo paulatinamente la superficie de esta área. Estos procesos de erosión contribuyen a la generación de movimientos en masa.

Cerro remanente o relicto (Dcrem): Prominencias topográficas aisladas de morfología colinada, alomada o montañosa que sobresalen de la topografía circundante. La unidad presenta cimas agudas a redondeadas, laderas de longitud moderadamente corta a larga de forma convexa.

En la vereda Agua Sucia, municipio de San Miguel, se logra identificar una geoforma con cima aguda y laderas cóncavas, generada por procesos erosivos y de meteorización acentuadas. Se presenta sobre rocas sedimentarias correspondientes a la Formación la Luna.

Figura 28. Cerro remanente o relicto (Dcrem). Vereda Agua Sucia, Municipio de San Miguel, Santander.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Cima (Dc): Superficie amplia convexa a plana, dispuesta en franjas alargadas que bordean algunas divisorias de agua. Presentan pendientes planas a inclinadas con anchos entre 200 a 800 metros, limitadas por laderas cuya inclinación puede ser moderada a escarpada. Su origen se establece a partir de procesos meteorización, erosión intensa y actividad antrópica.

En la Vereda Los Robles, en el Municipio de Enciso tenemos una panorámica a diferentes geformas entre las cuales se presenta una Cima con índice de relieve alto y una inclinación de ladera que va de plana a suave, la forma de ladera es rectilínea y su longitud es moderadamente larga. Se encuentra sobre rocas sedimentarias que corresponden a la Formación Aguardiente.

Figura 29. Cima (Dc). Panorámica tomada hacia el N desde la vereda Los Robles, Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.153.135; Y=1.229.243; H=1826 m. Secp: Escarpe de contrapendiente; Scor: Cornisa estructural; Slcp: Ladera en contrapendiente.



Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco): Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja. Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz arcillosa a areno limo arcillosa.

En el área de estudio se encontraron varios conos y lóbulos coluviales y de solifluxión con inclinaciones de ladera abruptas a muy abruptas y con índices de relieve de altos a muy altos con moderada presencia de meteorización los usos

del suelo para estas geoformas son en mayor parte para ganadería y agricultura. En la cobertura del suelo predominan los pastos y la vegetación herbácea.

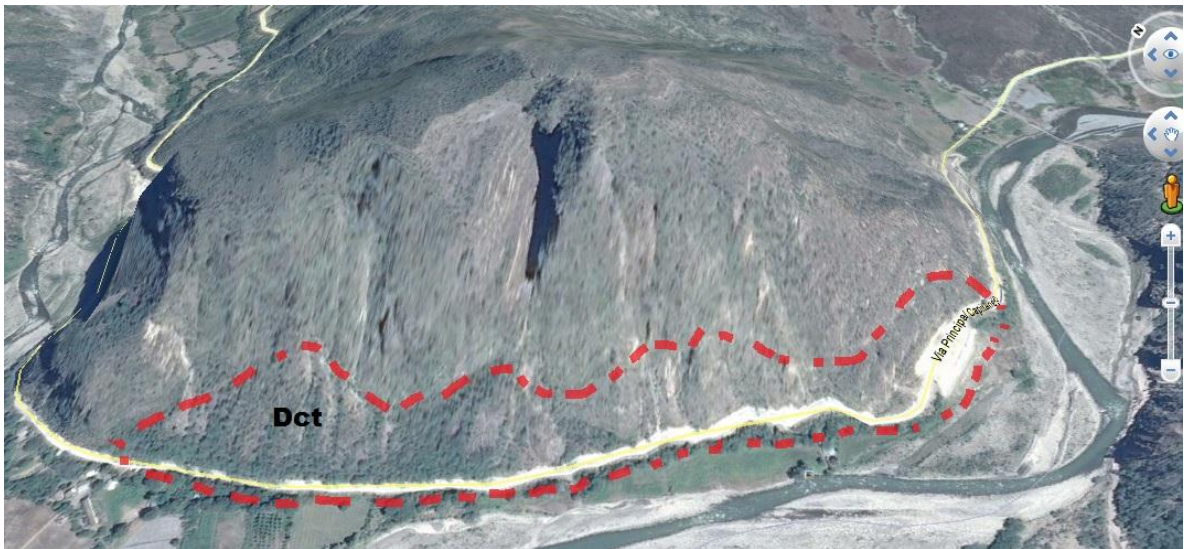
Figura 30. Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco), adyacente a este se aprecian laderas de contrapendiente (Slcp); también se observa terraza de acumulación antigua (Ftan). Panorámica tomada hacia el W en la Vereda Los Robles, Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.152.863; Y=1.229.192; H=1802 m.



Cono de talus (Dct): Estructura en forma de cono o lóbulo localizada a la base de los escarpes. Presenta un ápice angosto y en los cambios de la pendiente extremos redondeados, laderas son longitudes cortas a medias, convexas a cóncavas hacia la parte distal. Su origen es relacionado a procesos de acumulación mecánica de bloques y fragmentos angulares heterométricos que se desprendieron de las partes altas. Incluye los conos generados por actividad tectónica.

En el área de estudio esta geoforma se presenta hacia la parte sur, hacia la base de un escarpe de contrapendiente y junto al paso de la vía principal que conduce hacia Capitanejo. Esta geoforma presenta pendientes elevadas, procesos erosivos acentuados como surcos y en algunos casos cárcavas y se presenta sobre rocas sedimentarias de la Formación Aguardiente.

Figura 31. **Cono de talus (Dct)**. Vía que conduce al Municipio de Capitanejo, Santander.



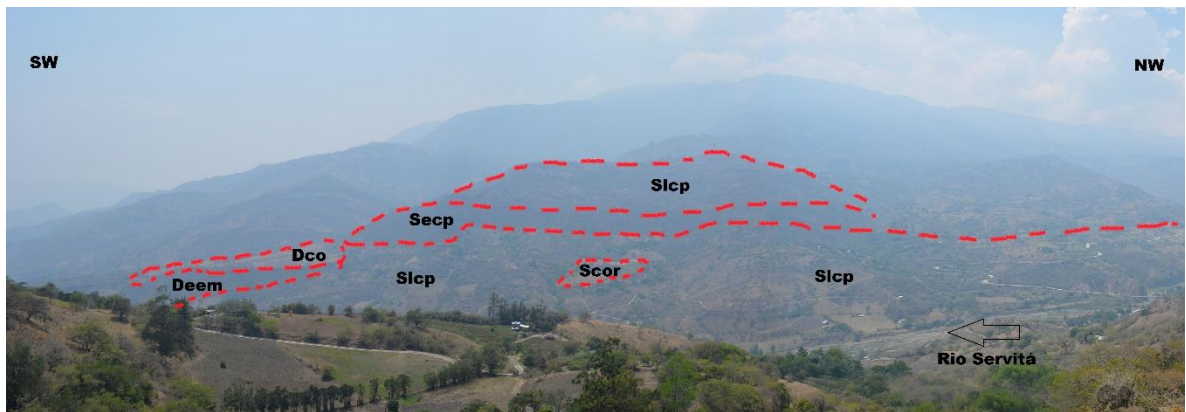
Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Escarpe de erosión mayor (Deem): Ladera abrupta o a desplome de altura variable que puede formarse por distintas causas: tectónicas, por la abrasión (erosión fluvial y marina), por procesos gravitacionales, glaciales, tectógenos. Eventualmente de longitud corta a larga, de forma cóncava, convexa y recta, con pendiente escarpada a muy escarpada.

Desde la parte alta de la Vereda Peña Colorada se toma una panorámica en la que se pueden diferenciar varias geoformas, una de ellas corresponde a un escarpe de erosión mayor, el cual se encuentra hacia los bordes de un depósito coluvial en inmediaciones al paso del cauce del río Servitá, con pendientes que van de abruptas a escarpadas.

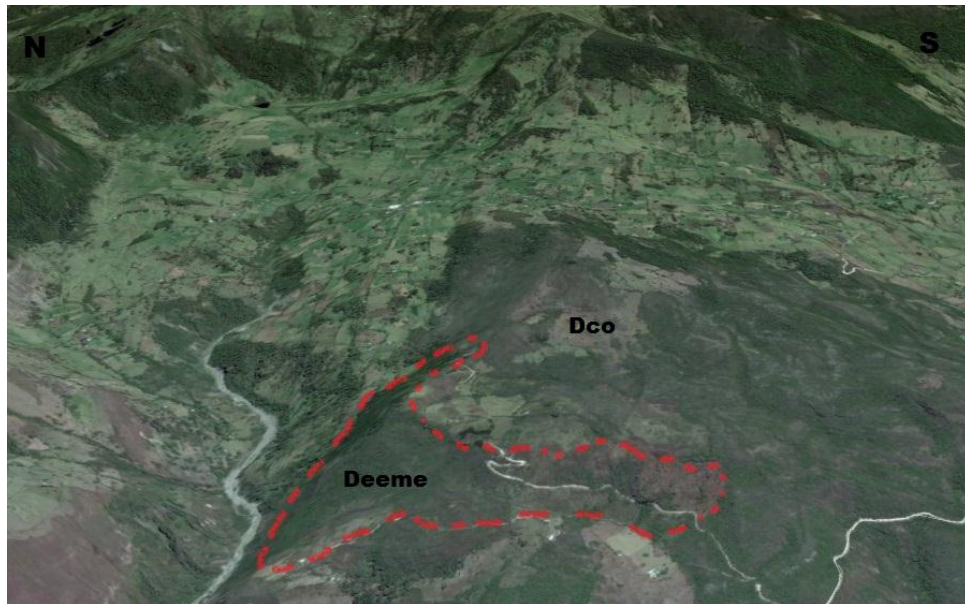
Figura 32. Escarpe de erosión mayor (Deem). Panorámica tomada hacia el W, Desde la Vereda Peña Colorada, Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.149.596; Y=1.218.458; H=1.114 m. Dco: Cono y lóbulo coluvial y de

solifluxión; Secp: Escarpe en contrapendiente; Scor: Cornisa estructural; Slcp: Ladera en contrapendiente.



Escarpe de erosión menor (Deeme): Ladera abrupta o a desplome de longitud corta a larga, de forma cóncavo convexa y eventualmente recta, con pendiente escarpada a muy escarpada, originado por socavación fluvial lateral o por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje. Estos escarpes se pueden observar desde el cauce del río Servitá, son muy escarpados con longitudes de ladera muy cortas a cortas e índice de relieve muy baja a baja, la forma de las laderas en su mayoría son irregulares, y su cobertura del suelo son pastos y vegetación herbácea en menor porcentaje, debido a que no presenta cobertura en la mayor parte de las laderas.

Figura 33. Escarpe de erosión menor (Deeme). Municipio de Enciso, Vereda el Juncal; Santander.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Escarpe faceteado (Def): Superficie triangular o trapezoidal, de base amplia y tope angosto, con ladera de morfología alomada, cóncava de longitud corta a moderadamente larga y pendientes escarpadas a muy escarpadas. Su origen es relacionado a procesos de erosión, incisión y movimientos en masa en laderas relictas que aparecen en torno a relieves estructurales constituidos por materiales fracturados.

En el área de estudio, se presenta un escarpe faceteado sobre rocas sedimentarias de la Formación Barco, hacia el margen izquierdo de la vía que conduce a Capitanejo. Presenta pendientes escarpadas y procesos erosivos acentuados, principalmente surcos y carcavamiento.

Figura 34. Escarpe faceteado (Def). Margen izquierdo de la vía que conduce a Capitanejo, Santander.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc): Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor que 250 m y la longitud del eje principal es menor que 250 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico.

En el área de estudio se presenta como formando parte de un depósito de terraza, por lo cual presenta intensos procesos erosivos y de meteorización. Los usos del suelo corresponden principalmente a ganadería y agricultura.

Figura 35. Lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc). Municipio de Enciso, Santander.

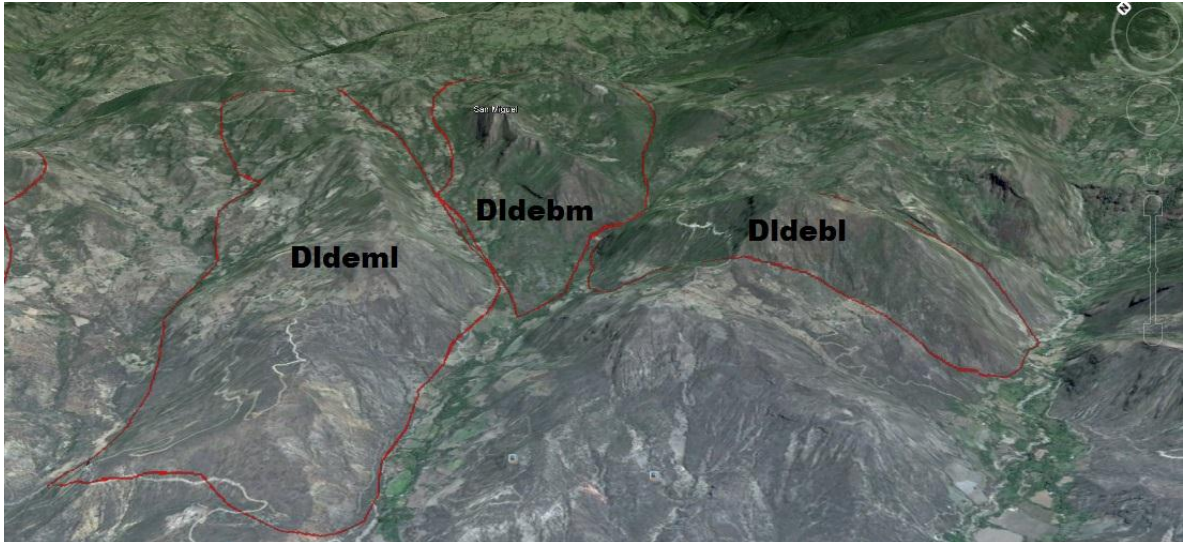


Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro

Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl): Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor de 250 m y la longitud del eje principal es mayor que 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico.

En la zona de estudio se presentan estas geoformas sobre rocas sedimentarias correspondientes a la Formación Aguardiente y a la Formación Colón- Mito Juan.

Figura 36. Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl). Municipio de Enciso, Vereda el Juncal, Santander. Dldeml: Lomo denudado moderado de longitud larga
Dldebm: Lomo denudado bajo de longitud media.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm): VER FIGURA 36. Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor que 250 m y el eje principal tiene una longitud entre 250 m y 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico. En la zona de estudio se presenta sobre rocas sedimentarias de la Formación Colón-Mito Juan, se caracteriza por intensos procesos erosivos y de meteorización.

Lomo desnudo moderado de longitud larga (Dldeml): VER FIGURA 36. Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo entre 250 m y 1000 m y la longitud del eje principal es mayor que 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico. En el área de estudio se presenta sobre rocas sedimentarias de la Formación Barco, se presentan procesos erosivos y de meteorización intensos.

Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra (Dlfl): Estructura en forma de lóbulo o flujo alomado, localmente aterrazado, con longitud corta a muy larga, altamente disectados, que se presentan siguiendo las hondonadas y drenajes fluviales. Localmente presenta diques marginales que limitan el cauce. Su origen es relacionado al transporte de materiales producto de la saturación del suelo. Su depósito está constituido por bloques angulares diseminados en una matriz arcillo arenosa.

En el área de estudio se presenta sobre depósitos de tipo coluvial lo que puede haber sido un antiguo movimiento en masa, en una zona con procesos erosivos y de meteorización acentuados. Los usos del suelo que predominan corresponden con actividades agrícolas y ganadería.

Figura 37. Cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra (Difl). Municipio de Enciso, Vereda el Juncal, Santander.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Ladera erosiva (Dle): Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y solifluxión, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geforma mayor o una estructura.

En la zona de estudio hay varias laderas erosivas, hacia la parte de Enciso, más exactamente en la Vereda El Mango-Loma del Negro se encuentra una de ellas con características representativas como su índice de relieve alto con inclinación de ladera muy abrupta, en su mayor parte no tiene uso de suelo y presentan matorrales y bosques como cobertura de suelo. La forma de la ladera es irregular y su longitud es muy larga.

Figura 38. Ladera erosiva (Dle). Fotografía tomada hacia el Norte en la Vereda El Mango-Loma del Negro, Municipio de Enciso, Santander. X=1.152.611; Y=1.224.321; H=1475m.



Ladera ondulada (Dlo): Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales.

Desde la vía que conduce de Enciso a San José de Miranda se registra una panorámica en la cual se puede identificar una ladera ondulosa con pendientes abruptas. Dicha ladera está formada sobre depósitos coluviales de un antiguo y grande deslizamiento. Esta ladera presenta bajo índice de vegetación.

Figura 39. Ladera ondulada (Dlo). Panorámica tomada hacia el NE Por la vía que va del Municipio de Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.150.213; Y=1.227.720; H=1.649 m. Slcp: Ladera en contrapendiente; Dco: Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción.



Lomo residual (Dlres): Elevación del terreno menor de 200 metros con morfología alomada y alargada, laderas cortas a moderadamente largas, convexas a eventualmente cóncavas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas y con drenaje dendrítico, desarrollada de manera general, sobre materiales afectados por meteorización diferencial intensa.

En el área de estudio se presenta sobre depósitos coluviales, afectados por intensos procesos erosivos, caracterizado por usos del suelo como agricultura y ganadería principalmente.

Figura 40. Lomo residual (Dires). Municipio de Enciso, Vereda el Juncal, Santander.

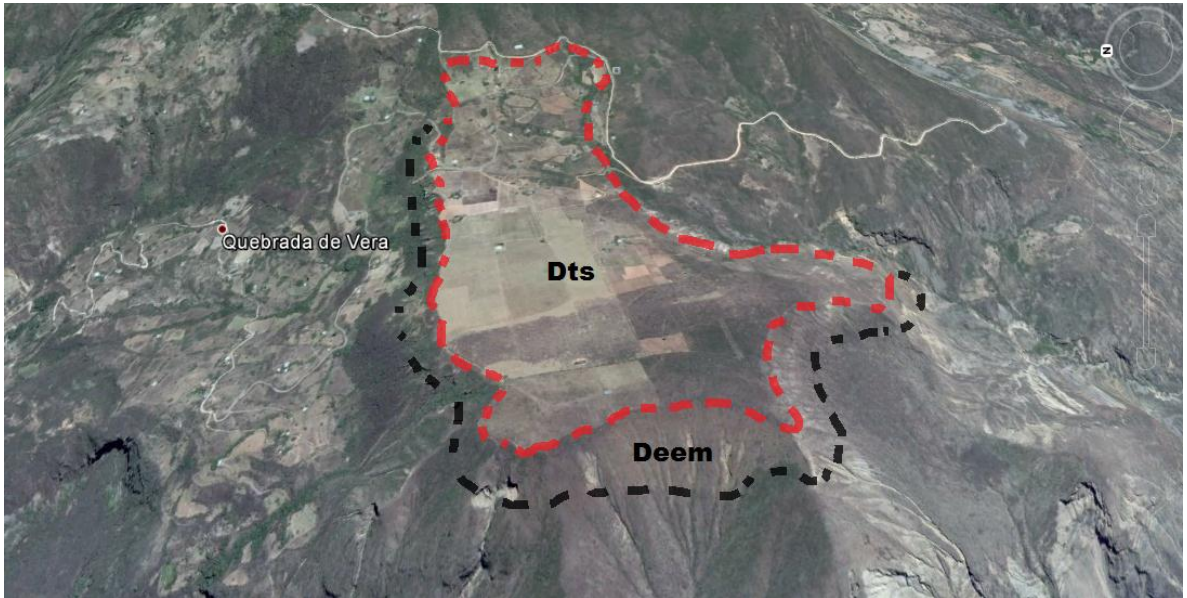


Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Terrazas sobreelevadas “colgadas” (Dts): Plano o superficie denudada de morfología alomada y colinada, de pendientes suavemente inclinadas que aparecen como relictos de antiguas terrazas y modelados fluviales, emplazados a una altura mayor que el nivel base del cauce actual. Corresponden a zonas afectadas por tectonismo o áreas donde los procesos de erosión son más influyentes que los de depositación.

En el área de estudio se presentan sobre depósitos cuaternarios de terraza en un sector y también sobre rocas sedimentarias de la Formación Los Cuervos, lo cual se asocia a procesos erosivos intensos y de meteorización presentes en la zona.

Figura 41. Terrazas sobreelevadas “colgadas” (Dts). Municipio de Capitanejo, Departamento de Santander. Deem: Escarpe de erosión mayor.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Ambiente estructural:

Estas geoformas son generadas gracias a la dinámica interna de la tierra, asociadas a plegamientos, fallamientos y levantamientos, los cuales a pesar de estar afectados por procesos de denudación en diverso grado, aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales.

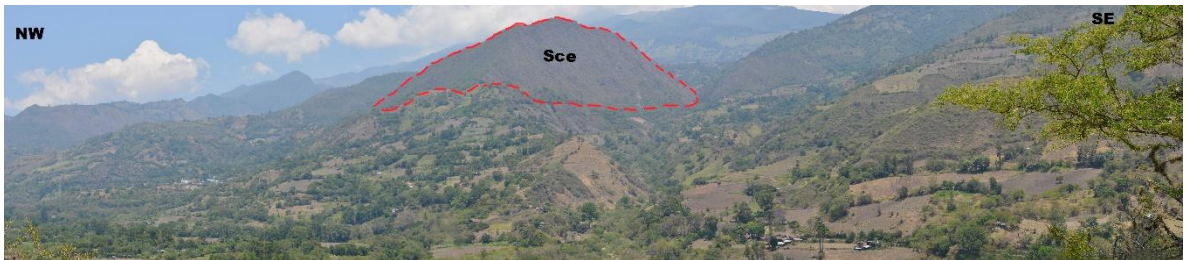
Estas unidades morfogénicas están presentes en toda el área de interés, siendo esta zona fuertemente afectada por la presencia de diferentes fallas, estructuras y pliegues como por ejemplo el sinclinal doblemente fallado, que abarca toda la zona de estudio, cuyo eje es representado por la falla del Servitá.

Cerro estructural (Sce): Prominencia topográfica aislada de morfología montañosa a colinada, con laderas de longitud corta a moderadamente larga, cóncavas a irregulares, poco disectadas. La unidad presenta pendientes muy

abruptas a escarpadas, las cuales han sido parcialmente aisladas de las zonas montañosas por fallamiento.

En la zona de estudio esta geoforma está caracterizada por pendientes que van de abruptas a escarpadas con una altura hasta de 400 m, compuesto por rocas sedimentarias de la Formación Aguardiente.

Figura 42. Cerro estructural (Sce). Panorámica tomada hacia el NE por la vía que conduce al Municipio de San José de Miranda desde Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.151.249; Y=1.227.081; H=1380 m.



Cornisa estructural (Scor): Saliente estructural u hombrera rocosa, tabular de morfología alomada suavemente inclinada. Se presenta a manera de repisa en laderas de contrapendiente generalmente irregulares a escalonadas. Su origen se debe a la acción conjunta de procesos estructurales y erosión diferencial en unidades duras y blandas.

Se encuentran varias cornisas en la zona de interés con índice de relieve alto y las inclinaciones de ladera baja con longitud de laderas largas y de forma rectilínea. Estas geoformas resaltan sobre las laderas de contrapendiente, y se encuentran sobre rocas sedimentarias de las Formaciones Colón-Mito Juan, Carbonera, Capacho, La Luna principalmente.

Figura 43. Cornisa estructural (Scor). Panorámica tomada hacia el E desde el margen izquierdo de la vía que se dirige al Municipio de San José de Miranda desde Málaga, Santander. Coordenadas: X=1.148.307; Y=1.228.962; H=2020 m. Sle: Ladera estructural; Slcp: Ladera en contrapendiente.



Espolón faceteado bajo de longitud larga (Sefcbl): Saliente natural que en conjunto conforma sierras colinadas que se desprenden de estructuras mayores las cuales corresponden a procesos de plegamiento, fallamiento y erosión diferencial sobre rocas de distinta competencia. Es producto de fallamiento inverso y de rumbo que generan truncamientos a manera de facetas triangulares. La forma predominante es colinada con laderas de pendiente inclinada a abrupta. La particularidad de esta unidad radica en que el relieve relativo es menor de 250 m y la longitud del eje principal del espolón es mayor que 1000 m.

En el área de estudio se encuentra esta geoforma, sobre rocas sedimentarias de la Formación Colón-Mito Juan. También se evidencian procesos erosivos, principalmente surcos, además de la erosión generada por el paso del cauce del río Servitá.

Figura 44. Espolón faceteado bajo de longitud larga (Sefcbl). Municipio de Capitanejo, Santander.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Espolón faceteado bajo de longitud media (Sefcbm): Saliente natural que en conjunto conforma sierras colinadas que se desprenden de estructuras mayores las cuales corresponden a procesos de plegamiento, fallamiento y erosión diferencial sobre rocas de distinta competencia. Es producto de fallamiento inverso y de rumbo que generan truncamientos a manera de facetas triangulares. La forma predominante es colinada con laderas de pendiente inclinada a abrupta. La particularidad de esta unidad radica en que el relieve relativo es menor de 250 m y la longitud del eje principal del espolón varía entre 250 m y 1000 m.

En el área de estudio se presenta sobre rocas sedimentarias de la Formación Barco, y hacia la parte inferior se presenta como parte de un depósito aluvial. Se evidencian procesos erosivos intensos, principalmente surcos y cárcavas.

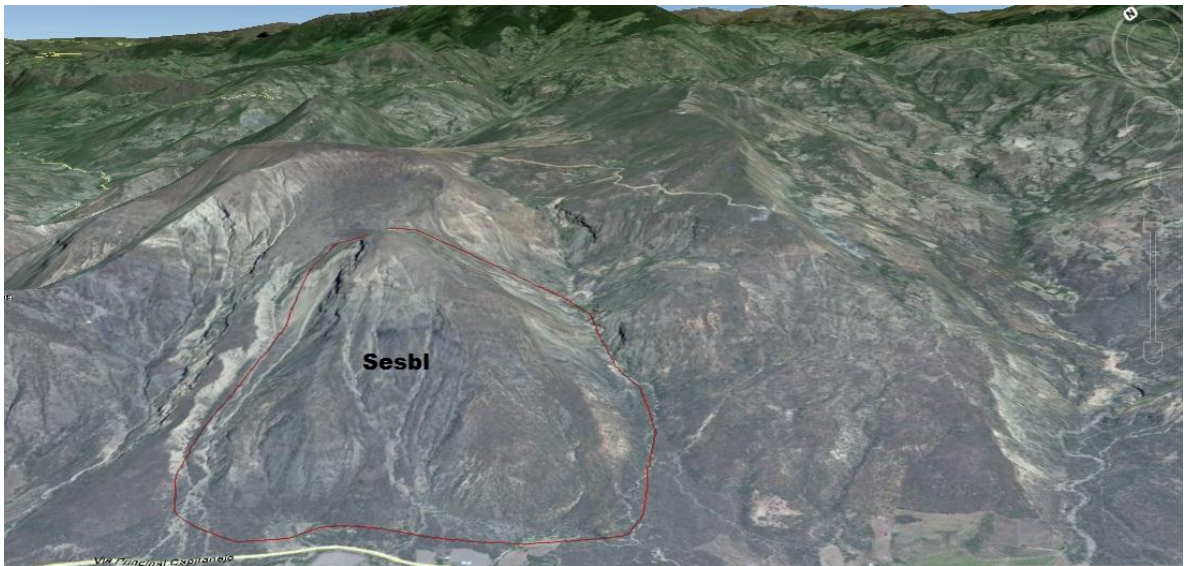
Figura 45. Espolón faceteado bajo de longitud media (Sefcbm). Municipio de Enciso, por el margen izquierdo de la vía que va hacia Capitanejo, Santaander.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Espolón bajo de longitud larga (Sesbl): Saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, desarrollados sobre rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias y limitado por drenajes paralelos a subparalelos. Con laderas de longitudes variables, con pendientes que se ven reducidas de abruptas a inclinadas por intensos procesos denudativos. La particularidad de esta unidad radica en que el relieve relativo es menor que 250 m y la longitud del eje principal del espolón es mayor que 1000 m. En el área de estudio se presenta esta geoforma sobre rocas sedimentarias de la Formación Colón-Mito Juan, en cercanías a la vía principal que conduce al municipio de Capitanejo. En esta geoforma se evidencian procesos erosivos de surcos y caravamiento fuertemente marcados, los cuales pueden llegar a generar a futuro procesos de movimientos en masa, teniendo en cuenta que se encuentra adyacente a un depósito de tipo coluvial.

Figura 46. Espolón bajo de longitud larga (Sesbl). Municipio de Capitanejo, Santander.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Escarpe de contrapendiente

Esta geofoma no está incluida dentro del Glosario del Servicio Geológico Colombiano, por tanto SE DEFINIÓ un escarpe de contrapendiente como un plano vertical a subvertical de longitudes que varían de medias a largas, con pendientes inclinadas a escarpadas. Se caracteriza porque los estratos están buzando en contra de la pendiente.

En el área de estudio se evidenciaron varios escarpes de contrapendiente, un ejemplo de esto se encuentra hacia la parte alta de la Vereda Peña Colorada, donde el escarpe se encuentra casi vertical y donde además se encuentran rocas sedimentarias correspondientes a la Formación La Luna.

Figura 47. Escarpe de contrapendiente (Secp). Panorámica tomada hacia el NE en la parte alta de la Vereda Peña Colorada, Municipio de Enciso. Santander. Coordenadas: X=1.150.501; Y=1.219.71; H=1.132 m.



Ladera contrapendiente (Slcp): VER FIGURA 43. Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a muy escarpadas. En esta geofoma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros).

Se reportaron varias laderas de contrapendiente en la zona de estudio y de características similares que oscilan en los mismos rangos y no se presenta mucha variación o diferencia entre una y otra ladera. El índice de relieve va de alto a muy alto con inclinaciones de ladera abruptas a muy abruptas con longitudes largas a extremadamente largas de forma rectilínea.

Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle): Superficie definida por estratos inclinados a favor de la pendiente del terreno, conformando una artesa, de longitud corta a moderadamente larga, forma cóncava y pendientes inclinadas a abruptas, relacionada al flanco de una estructura sinclinal.

En el área de estudio se presentan estas geoformas sobre rocas sedimentarias correspondientes a las Formaciones Rio Negro, Tibú-Mercedes, Colón-Mito Juan, Aguardiente principalmente. Se presentan como laderas con pendientes moderadas a altas, y en algunos casos abruptas.

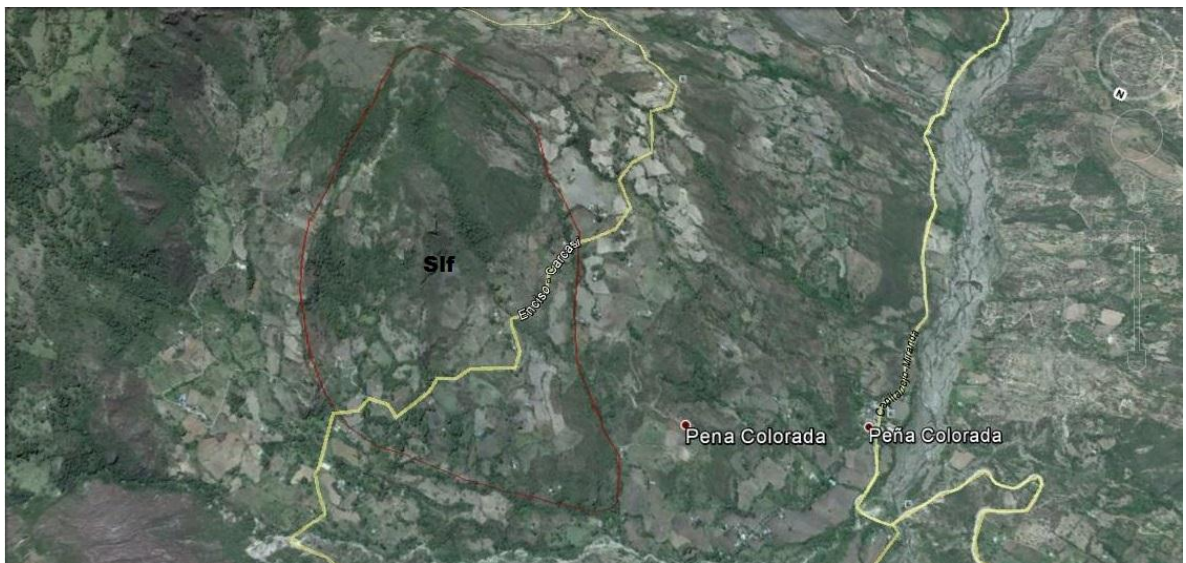
Figura 48. **Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle):** Panorámica tomada hacia el N por la vía que se dirige al Municipio de San José de Miranda desde Málaga, Santander. Coordenadas: X=1.148.354; Y=1.228.538; H=2004 m.



Lomo de falla (Sif): Prominencia topográfica de morfología alomada, con laderas cortas a muy cortas, forma convexa y pendiente abrupta a escarpada, localizados a lo largo de una falla de rumbo y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que determina la expulsión de un bloque de terreno. Se caracteriza por su alto fracturamiento y estructuras de tipo flor positiva.

En el área de estudio estas geoformas se presentan sobre rocas sedimentarias de las Formaciones Barco, Los Cuervos, Capacho, y Colón-Mito Juan principalmente. Se localizan a lo largo de fallas de rumbo.

Figura 49. Lomo de falla (Sif). Vereda Peña Colorada, Municipio de Enciso, Santander.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Escarpe de línea de falla (Sife): Plano vertical a subvertical corto a muy corto, cóncavo a convexo de pendiente abrupta. Su origen se relaciona a las superficies definidas por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada. En la fotografía se muestra un escarpe casi

vertical correspondiente a la Formación Carbonera que está siendo afectado por el paso de la falla del río Servitá.

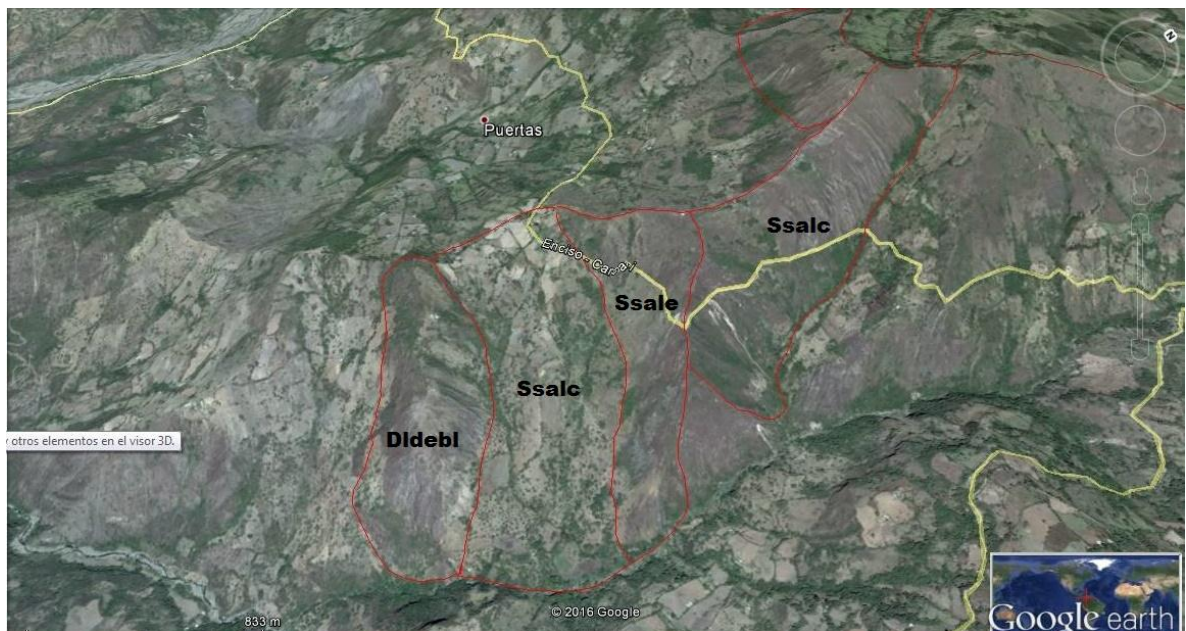
Figura 50. Escarpe de línea de falla (Slfe) en el margen derecho del cauce del río Servitá. Panorámica tomada hacia el W desde la vía de San José de Miranda que conduce hacia el Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X= 1.151.412; Y=1.227.704; H= 1407 m.



Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc): Superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma irregular o escalonada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, desarrollada en la ladera estructural o en la zona de charnela de una sierra anticlinal debido a la acción de procesos de erosión, meteorización o tectonismo que cortan y moldean la estructura original.

En el área de estudio se presentan sobre rocas sedimentarias de las Formaciones Capacho y Aguardiente, los estratos de dichas rocas se encuentran en contra de la pendiente y están siendo afectados por procesos de origen estructural dados por el paso de varias fallas y la presencia marcada de anticlinales.

Figura 51. Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc). Vereda Las Puertas, Municipio de Enciso, Santander. Didebl: Lomo denudado bajo de longitud larga; Ssale: Ladera estructural de sierra anticlinal.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale): VER FIGURA 51 Superficie con estratos inclinados a favor de la pendiente, de longitud corta, formas convexa a recta y pendiente inclinada a muy abrupta, relacionada al flanco de una estructura anticlinal. Localmente los estratos se presentan con inclinaciones menores de la pendiente natural del terreno.

En el área de estudio se presentan sobre rocas sedimentarias de la formación Aguardiente, los estratos de dichas rocas se encuentran buzando a favor de la

pendiente y están siendo afectados por procesos de origen estructural dados por el paso de varias fallas y la presencia marcada de anticlinales.

Sierra homoclinal (Ssh): Prominencia topográfica simétrica o ligeramente simétrica elongada y de morfología montañosa a colinada de cimas agudas, definida por una secuencia de estratos o capas apilados e inclinados ($> 35^\circ$) en una misma dirección. Generalmente es producto del desarrollo o erosión de un solo flanco de una estructura geológica. Este tipo de unidad se puede generar en rocas metamórficas foliadas o en rocas sedimentarias.

En el área de estudio se presentan sobre rocas sedimentarias de las Formaciones Capacho y Aguardiente, los estratos de dichas rocas se encuentran buzando a favor de la pendiente y están siendo afectados por procesos de origen estructural dados por el paso de varias fallas y la presencia marcada de anticlinales y sinclinales, además de procesos erosivos marcados fuertemente con surcos, carcavamiento y procesos erosivos generados por el paso del cauce tanto del río Servitá y el río Chicamocho.

Figura 52. Sierra homoclinal (Ssh). Municipio de Enciso, margen derecho de la vía que conduce a Capitanejo, Santander.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc): Superficie vertical a subvertical moderada a larga, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una sierra homoclinal.

En el área de estudio se presentan sobre rocas sedimentarias de la Formación Tibú Mercedes, los estratos de dichas rocas se encuentran buzando en contra de la pendiente y están siendo afectados por procesos de origen estructural dados por el paso de varias fallas y la presencia marcada de anticlinales y sinclinales, además se pueden presentar procesos erosivos y de meteorización de la roca.

Figura 53. Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc). Vereda Los Robles, Municipio de Enciso, Santander. Sshle: Ladera estructural de sierra homoclinal; Secp: Escarpe de contrapendiente.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro.

Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle): VER FIGURA 53 Superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente, de longitud corta a moderada larga, formas rectas a convexas y pendientes escarpadas a muy escarpadas, relacionada a una estructura homoclinal.

En el área de estudio se presentan sobre rocas sedimentarias de la Formación Aguardiente, los estratos de dichas rocas se encuentran buzando a favor de la pendiente y están siendo afectados por procesos de origen estructural dados por el paso de varias fallas y la presencia marcada de anticlinales y sinclinales.

Sierras (Sslp): Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso.

Se encuentra una Sierra de presión de grandes dimensiones que abarca gran parte de la zona de trabajo. Esta sierra se caracteriza por presentarse sobre rocas sedimentarias correspondientes a las Formaciones La Luna, Colón-Mito Juan, Los Cuervos, Mirador, Barco y Carbonera. Constituye una geoforma de carácter regional, sobre la cual se presentan diversos procesos de principalmente estructurales como lo evidencia el paso de la Falla del río Servitá y la Falla el Tunebo por las cuales se encuentra delimitada, además de la presencia de sinclinales y anticlinales. Debido a lo anterior pueden presentarse procesos erosivos acentuados, e incluso pueden llegar a generarse procesos de movimientos en masa en las zonas más vulnerables.

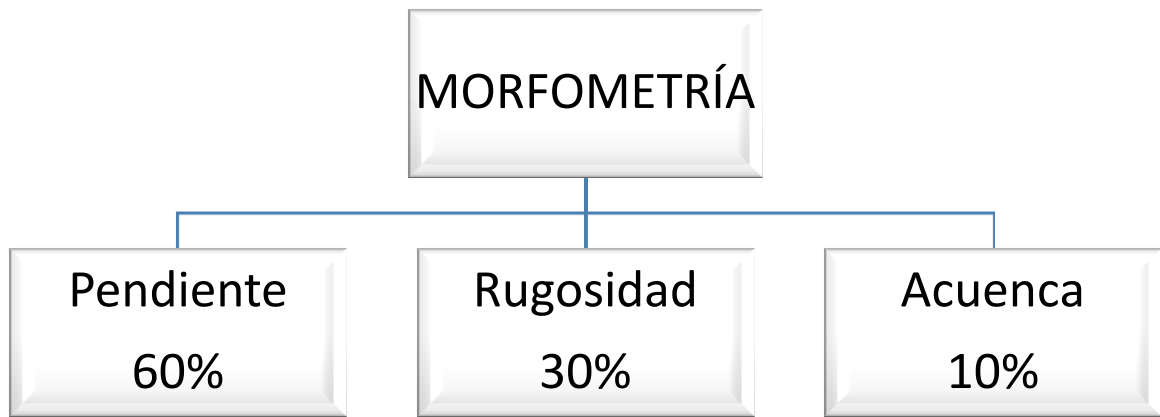
Figura 54. Sierra de presión (Sslp). Panorámica tomada hacia el NE desde el margen izquierdo de la vía que conduce del Municipio de Enciso hacia San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.153.224; Y=1.224.703; H=1534 m.



6.2.2 Morfometría. Corresponde al atributo de la geomorfología que estudia las características cuantitativas de las formas del relieve (alturas, superficies, pendientes, volúmenes, etc.), a partir de diversos índices numéricos. En general, este atributo comprende la caracterización y el análisis digital de las superficies topográficas continuas, abarcando los rasgos dimensionales de las geoformas, los cuales se derivan de una representación numérica de la topografía (Rincon, 2014).

También se incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales. Para las variables de morfometría (**Ver Figura 55**) se emplea el modelo digital de elevación (DEM), el cual sirve como insumo para la calificación de cada una de las unidades geomorfológicas (SGC, 2013).

Figura 55. Esquema de atributos de la variable morfometría, con su respectiva ponderación.



Fuente: Tomado de (SGC, 2013).

6.2.2.1 Mapa de pendientes: La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0° a 90° o en porcentaje, se relaciona con los movimientos en masa de manera que; a mayor el grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa (SGC, 2013)

En la Tabla 11 se presentan los valores de clasificación en función de la susceptibilidad de la pendiente.

Tabla 11. Calificación de Susceptibilidad de la pendiente.

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
1	Plana a suavemente inclinada (0-7°)	Muy Baja
2	Inclinada (7-11°)	Baja
3	Muy Inclinada (11-19°)	Media
4	Abrupta (19-40°)	Alta
5	Escarpada (> 40°)	Muy Alta

Fuente: Tomado de (SGC, 2013).

6.2.2.2 Mapa de rugosidad: La rugosidad del terreno se define como la variación de la pendiente en un área y representa la desviación del vector normal a la superficie en cada celda. El valor 1 corresponde a rugosidad nula y los valores se hacen mayores al aumentar la dispersión de los vectores (alta rugosidad). Se relaciona con los movimientos en masa de manera que las laderas de rugosidad alta son más propensas a presentar movimientos en masa debido a que los cambios sucesivos de pendientes favorecen una mayor infiltración del agua en el terreno y por ende, aumenta la inestabilidad del mismo (SGC, 2013).

En la Tabla 12 se presentan los valores de clasificación en función de la susceptibilidad a los movimientos en masa del atributo rugosidad

Tabla 12. Valores de calificación Susceptibilidad de la rugosidad.

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
1	Rugosidad muy Baja o Nula	Muy Baja
2	Rugosidad Baja	Baja
3	Rugosidad Media	Media
4	Rugosidad Alta	Alta
5	Rugosidad Muy Alta	Muy Alta

Fuente: Tomado de (SGC, 2013).

6.2.2.3 Mapa Acuenca: El atributo Acuenca corresponde a la superficie de la cuenca aguas arriba de la celda cuya sumatoria de la superficie vierten a una celda determinada (cuenca acumulada). La variable se deriva del Modelo Digital de Elevación MDE y se expresa en m². Si bien es una variable cuantitativa, los valores de superficie son múltiplo del área de una celda, no tratándose de una variable continua. El área de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en un terreno, a mayor superficie más agua infiltrada y más posibilidades de desarrollar inestabilidad en el terreno (SGC, 2013).

El flujo de las aguas a través de la superficie es siempre en la dirección de máxima pendiente, una vez que la dirección de flujo (flow direction) es conocida es posible determinar cuáles y cuántas celdas fluyen hacia una celda particular, la sumatoria de estas se denomina flujos acumulados (flow accumulation). Los valores de los flujos acumulados multiplicados por el área del pixel crean la variable ACUENCA o sea el área de la cuenca (SGC, 2013).

En la tabla 13 se presentan los valores de clasificación en función de la susceptibilidad a los movimientos en masa de la variable Acuenca.

Tabla 13. Clasificación de la Susceptibilidad del atributo Acuenca

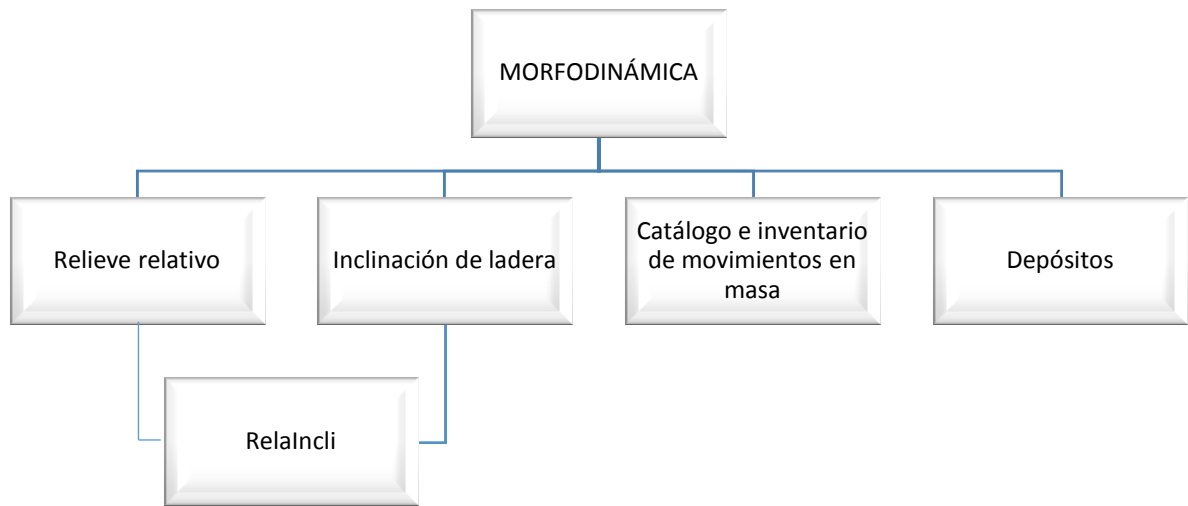
CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
1	DIVISORIA DE AGUAS O LOMOS	MUY BAJA
2	ESCORRENTÍA LENTA	BAJA
5	FLUJO ACUMULADO	MUY ALTA
3	DRENAJE NO PERMANENTE	MEDIA
1	QUEBRADAS, RIOS	MUY BAJA

Fuente: Tomado de (SGC, 2013).

6.2.3 Morfodinámica: Corresponde al atributo de la geomorfología encargado de tratar los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos) tanto antiguos, como recientes que han modelado, continúan moldeando el relieve y son

los responsables del estado actual de las geoformas. Todos los elementos móviles determinados por las fuerzas de cambio, capaces de obtener, transportar y depositar los productos provenientes de la meteorización y de la sedimentación, se conocen como agentes morfodinámicos (SGC, 2012).

Figura 56. Esquema de atributos de la variable morfodinámica



Fuente: Tomado de SGC, 2013.

6.2.3.1 Índice de relieve relativo (RR): . Representa la diferencia de altitud de la geoforma, independientemente de su altura absoluta o nivel del mar. Ella se mide por la diferencia de alturas entre la parte más baja y alta, llámese colina, montaña, meseta, terraza y otros. Se define como la diferencia entre la mayor elevación y la menor elevación por unidad de área, y se expresa como la máxima diferencia de altura del terreno por Km² (SGC, 2013).

En la **Tabla 14** se muestran los intervalos de altura del relieve relativo y su relación con la resistencia de los materiales asociados. La calificación (CalRelie) se hace sobre la base que el relieve es un factor determinante para el desarrollo de procesos de movimientos en masa, a pesar de ser un factor pasivo, pues favorece la acción de la gravedad y desfavorece la resistencia del medio en un

momento determinado, cuando se ve influenciado por otros factores, como en el caso de un sismo o de lluvias intensas.

Tabla 14. Calificación del relieve relativo.

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

Fuente: Tomado de (SGC, 2013).

6.2.3.2 Inclinación de la ladera (IL): Se hace referencia a la inclinación de la ladera porque generalmente está relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de los movimientos en masa. En general se puede afirmar que existe una relación directa y proporcional. Aunque si es un factor dinámico importante, esta relación no siempre es correlacionable y depende principalmente del tipo de material (SGC, 2013).

En la **Tabla 15** se muestran los grados de inclinación de la ladera, tomado y modificado de Vargas (2001, en INGEOMINAS 2004) y su relación con la resistencia del material. La calificación (CalIncli) se hace sobre la base que el proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica, al igual que el caudal máximo, están muy influenciados por la configuración topográfica, que está directamente relacionada con la inclinación de la ladera, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo a los distintos grados de pendiente.

Tabla 15. Calificación de la inclinación de la ladera.

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

Fuente: Tomado de SGC, 2013.

6.2.3.3 Combinación del relieve relativo y la inclinación de la ladera (RelaIncli): La combinación de los elementos fisiográficos, relieve relativo e inclinación de la ladera mediante el modelo RelaIncli, permite la agrupación en un mismo escenario de los elementos geomorfológicos con mayor tendencia a los movimientos en masa tanto por evidencias antecedentes como por los eventos registrados en un catálogo e inventario de dichos movimientos. De esta manera se considera que la inclinación de la ladera que constituye una geoforma, no es atributo suficiente para determinar la ocurrencia de un movimiento, en tanto no exista la contribución de la posición geográfica de dicha ladera a la ocurrencia o amplificación del evento.

En el mismo sentido puede considerarse que una geoforma puede ubicarse a una cota respecto al nivel del mar que propicie la ocurrencia de un movimiento en masa por factores climáticos y erosivos, sin embargo, si las laderas que constituyen dicha geoforma no tienen una inclinación significativa, la posibilidad que se modifiquen las condiciones de estabilidad es mínima, siempre y cuando no se modifique el equilibrio natural de la geoforma. El modelo de relieve RelaIncli

seleccionado se muestra en la función, el cual permite que sobre las zonas de relieve relativo se caractericen grados de inclinaciones de ladera. $RelaIncli = 0.60 * RR + 0.40 IL$.

La caracterización morfodinámica permite la identificación y la definición de la evolución de los procesos denudativos (erosión y movimientos en masa) que ocurrieron en una determinada área y permite la evaluación de dicha zona en términos de estabilidad del terreno (SGC, 2013).

6.2.3.4 Catálogo e Inventario de Movimientos en masa. Para el inventario, la clasificación y la caracterización de los movimientos en masa presentes en el área de trabajo, se usaron los lineamientos y definiciones presentes en el PMA – GEMMA (2007), en donde se define el termino movimiento en masa como: “Todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o tierra por efecto de la gravedad” (Cruden, 1991 en PMA-GEMMA, 2007). Para la clasificación de estos tipos de movimientos en masa, Varnes emplea como criterio principal el tipo de movimiento (caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones, flujos y reptación) y, en segundo lugar, el tipo de material (rocas y suelos, estos últimos divididos en detritos y tierra), (Varnes 1958 y 1978, en PMA-GEMMA 2007). Ver Tabla 16.

Tabla 16. Clasificación de los movimientos en masa de Varnes (1958).

CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA	
TIPO	SUBTIPO
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (detritos o suelo)
	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	Combadura, pandeo de valles, roturas confinadas, expansión de crestas, flujos de roca (asimilables a reptación profunda de macizos rocosos), expansión gravitacional.

Fuente: Tomado y modificado de Proyecto Multinacional Andino (PMA), 2007.

Para la generación del inventario y catálogo de movimientos en masa, se tuvieron como base tanto los movimientos registrados anteriormente por el SIMMA (TABLA 17), como los movimientos registrados en campo continuación se presenta una breve descripción de los movimientos en masa encontrados en la zona, a partir de la clasificación realizada por Varnes (1953).

Tabla 17. Movimientos en masa registrados por el SIMMA en el área de estudio.

id	y	x	z	Origen	Plancha
Punto32	1229532,36	1136289,89	2164	Central	136-I-D-1
Punto49	1228648,14	1139026,33	2273	Central	136-I-D-1
Punto100	1229439,14	1139408,31	2000	Central	136-I-D-1
Punto101	1229840,95	1140205,46	2000	Central	136-I-D-1
Punto44	1228856,54	1148150,38	2082	Central	136-I-D-2
Punto45	1229072,16	1148364,91	2044	Central	136-I-D-2
Punto47	1229594,45	1148302	2082	Central	136-I-D-2
Punto48	1229564,2	1148486,45	2077	Central	136-I-D-2
Punto96	1226113,76	1145146,84	1370	Central	136-I-D-2
Punto5	1227211,05	1153162,91	1819	Central	136-II-C-1
Punto6	1228655,89	1153404,63	1750	Central	136-II-C-1
Punto39	1228471,68	1153435,89	1674	Central	136-II-C-1
Punto40	1226117,12	1157498,29	2171	Central	136-II-C-1
Punto41	1225675,06	1153320,85	1940	Central	136-II-C-1
Punto43	1225954,55	1154364,68	2061	Central	136-II-C-1
Punto97	1225670,95	1152957,94	1700	Central	136-II-C-1
Punto102	1229054,99	1152486,48	0	Central	136-II-C-1
Punto4	1225981,56	1163674,59	2120	Central	136-II-C-2
Punto9	1229297,38	1162681,47	2629	Central	136-II-C-2
Punto38	1226812,08	1163948,65	2171	Central	136-II-C-2
Punto63	1226702,22	1157926,77	2482	Central	136-II-C-2
Punto75	1227639,19	1163085,83	2614	Central	136-II-C-2
Punto12	1224079,92	1154277,81	0	Central	136-II-C-3
Punto31	1220754,13	1151706	1290	Central	136-II-C-3
Punto42	1224172,33	1154369,69	1864	Central	136-II-C-3
Punto67	1222090,8	1157202,53	1950	Central	136-II-C-3
Punto28	1221570,55	1157941,52	1718	Central	136-II-C-4
Punto34	1224062,92	1159101,94	1913	Central	136-II-C-4
Punto35	1224036,91	1160730,52	1144	Central	136-II-C-4
Punto36	1222713,11	1159874,1	1998	Central	136-II-C-4
Punto37	1223391,1	1160548,12	2024	Central	136-II-C-4
Punto64	1222820,31	1164974,64	2623	Central	136-II-C-4
Punto65	1224027,66	1157534,93	1860	Central	136-II-C-4
Punto66	1223572,36	1159502,8	1800	Central	136-II-C-4
Punto68	1222682,45	1159904,83	2000	Central	136-II-C-4
Punto69	1224774,53	1160759,12	1900	Central	136-II-C-4
Punto70	1222869,7	1160918,34	2300	Central	136-II-C-4
Punto71	1224222,13	1161006,53	1925	Central	136-II-C-4
Punto72	1224467,67	1160913,66	2000	Central	136-II-C-4
Punto73	1223971,82	1159501,64	1850	Central	136-II-C-4
Punto76	1224197,27	1163003,92	2050	Central	136-II-C-4
Punto20	1210214,76	1140025,37	1601	Central	136-III-B-3
Punto21	1213108,24	1142077,08	1167	Central	136-III-B-3

Punto30	1217257,83	1154143,21	1608	Central	136-IV-A-1
Punto29	1218839,52	1159270,67	1999	Central	136-IV-A-2
Punto22	1213811,91	1152554,75	1171	Central	136-IV-A-3
Punto95	1210457,14	1157599,69	1781	Central	136-IV-A-4
Punto98	1211041,16	1164080,24	2200	Central	136-IV-A-4

Fuente: SIMMA

6.2.3.4 Inventario y catálogo de movimientos en masa. A continuación se presenta una breve descripción de las características morfodinámicas de los procesos observados en la zona de interés con el correspondiente registro fotográfico, donde se exponen las principales causas de ocurrencia, daños, efectos secundarios y riesgos que estos movimientos causan o puedan generar a futuro en el medio circundante, además de posibles impactos sobre el entorno socio-económico.

En el área de trabajo se registraron 16 movimientos en masa, de los cuales 11 fueron clasificados para catálogo y 5 para inventario de movimiento en masa.

Catálogo de movimientos en masa:

Tabla 18. Coordenadas de movimientos en masa registrados como catálogo.

Estación	Coordenadas			Tipo de Movimiento
	X	Y	Altura (m)	
E3	1148290	1228636	2000	Caída de Rocas
E4	1148214	1228806	2006	Flujo de Detritos
E5	1148128	1228885	2014	Deslizamiento Traslacional
E9	1152979,88	1230128,88	1826	Deslizamiento Rotacional
E16	1151476	1229941	1503	Flujo de Detritos
E20	1151249	1227081	1380	Deslizamiento Rotacional
E22	1150963,75	1227033,25	1430	Deslizamiento Traslacional
E23	1150884,38	1227366,62	1478	Deslizamiento Traslacional
E28	1149660	1227245	1715	Deslizamiento Traslacional
E29	1149331	1226656	1779	Deslizamiento Rotacional
E40	1152524	1224393	1424	Caída de Rocas

En el Municipio de San José de Miranda (E3) se encontró un movimiento en masa de importancia media por la vía que va hacia Málaga, correspondiente a una caída de roca (**Figura 57**) que está siendo controlada por pilotes para evitar que en futuros movimientos que puedan ocasionar daños en la carretera y/o tapando el paso de un Municipio a otro causando daño económicos.

Figura 57. Caída de rocas hacia el SW, en el margen izquierdo de Vía que conduce del Municipio de San José de Miranda a Málaga, Santander. Coordenadas: X=1.148.290; Y=1.228.636; h=2000 m.



Movimiento que se encuentra en estado de actividad suspendido por la vía San José de Miranda hacia Málaga (E4), se debe a un flujo de detritos de importancia baja (**Figura 58**), se encuentra la roca expuesta dejando a la vista los estratos a favor de la pendiente, formando así, una ladera estructural.

Figura 58. Flujo de detritos hacia el SW, en el margen izquierdo de la Vía que conduce del Municipio de San José de Miranda a Málaga, Santander. Coordenadas: X=1.148.214; Y=1.228.806; h=2006 m.



Por la vía que se dirige hacia Málaga desde San José de Miranda (E5), se observa un movimiento en masa compuesto de importancia alta adyacente al antiguo puente de la vía.

Esta zona está siendo afectada por un deslizamiento traslacional planar y flujo de detritos (**Figura 59**), donde se pueden ver claramente los bloques de roca que han sido transportados debido a la inestabilidad del terreno, inclinación de los estratos y la pendiente que es, además, acentuada por el paso de la quebrada. A futuro en otro movimiento de mayor magnitud podría causar daños a la infraestructura allí

presente, como son el puente antiguo y el nuevo puente, y ocasionar daños en la vía produciendo pérdidas económicas.

Figura 59. Deslizamiento traslacional y flujo de detritos hacia el SW, en el margen derecho de la Vía que conduce del Municipio de San José de Miranda a Málaga, Santander.

Coordenadas: X=1.148.128; Y=1.228.885; h=2014 m.



En el municipio de Enciso a la altura de la Vereda Los Robles (E9), se registró un movimiento en masa desde una panorámica hacia el N y NW donde se puede observar un deslizamiento rotacional (**Figura 60**) de aproximadamente 25 m de alto y 37 m de ancho, se le otorgó una importancia baja porque no generó ni puede generar algún tipo de daño de infraestructura, ambiental o económico.

El dato para cartografiar el movimiento tuvo que ser proyectado debido a que no nos encontrábamos directamente sobre el deslizamiento.

Figura 60. Deslizamiento rotacional, panorámica tomada en la Vereda Los Robles hacia el SW, Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas proyectadas: X=1.152.979,88; Y=1230128,88; h=1826 m.



En el Municipio de Enciso, cauce arriba del río Servitá, en el borde W del río(E 16), se registró un movimiento en masa de importancia media, se debe a un flujo de detritos (**Figura 61**) de aproximadamente 10 m de alto y 20 m de ancho, se puede observar la presencia de surcos. Este movimiento a futuro podría causar daños ambientales provocando caída de árboles y taponamiento parcial del río Servitá.

Figura 61. Flujo de detritos al Oeste del Río Servitá hacia el SW, Municipio de Enciso, Santander. Presencia se procesos erosivos principalmente surcos (profundidades menores de 50 cm) y cárcavas (profundidades entre 50-150 cm). Coordenadas: X=1.151.476; Y=1.229.941; h=1503 m.



Por la vía principal que va de Enciso a San José de Miranda unos 100 metros después del desvío que viene desde el Municipio de Enciso (E20), se registró un movimiento en masa de alta importancia debido a que por ese punto pasa la falla Servitá que está afectando el afloramiento y se observa de manera clara un deslizamiento traslacional (**Figura 62**). En un futuro movimiento en masa, ya sea causado por acción de la falla geológica o lluvias fuertes, podría ocasionarse taponamiento de la carretera ocasionando daños económicos como transporte de carga y pasajeros entre estos dos municipios causando daños económicos y posibles vidas.

Figura 62. Deslizamiento traslacional hacia el NW en la Vía que conduce del Municipio de Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.151.249; Y=1.227.081; h=1380 m.



Movimiento en masa de importancia alta por su ubicación al borde de la carretera que conduce de Enciso hacia San José de Miranda (E22). Se presenta un deslizamiento traslacional (**Figura 63**) de aproximadamente 5 metros de alto y 60 metro de ancho, una parte del movimiento está siendo controlada por gaviones pero otra parte aún no está estabilizada. Este deslizamiento si no se sigue controlando de alguna manera, a futuro podría causar daños a ganadería y a la vía, produciendo daños económicos en el transporte de pasajeros y a las viviendas aledañas.

Figura 63. Deslizamiento Traslacional estabilizado hacia el NW, en el margen izquierdo de la vía que conduce desde Enciso a San José de Miranda. Coordenadas: X=1.150.963,75; Y=1.227.033,25; h=1430m.



Por la vía que va del Municipio de Enciso hacia San José de Miranda en el margen izquierdo (E23) se observa un movimiento en masa de aproximadamente 60 metros de ancho y 8 metros de alto, se le otorgó una importancia media a este deslizamiento traslacional (**Figura 64**) que está siendo controlado mediante gaviones porque seguramente el algún momento pudo haber afectado la capa asfáltica cortando el paso de un municipio al otro.

Figura 64. Deslizamiento traslacional estabilizado hacia el SW, en el margen izquierdo de la vía que conduce desde Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.150.884,38; Y=1.227.366,62; h=1478 m.



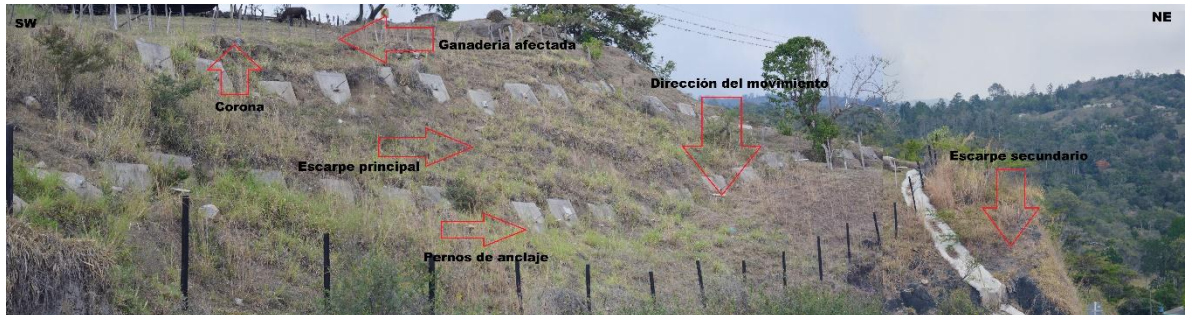
Por la vía que va del Municipio de Enciso hacia San José de Miranda en el margen izquierdo (E28). Deslizamiento traslacional (**Figura 65**) de baja importancia con altura de aproximadamente 20 metros y 35 metro de ancho, movimiento en masa que se encuentra estabilizado por pernos de anclaje que antiguamente pudo haber afectado la capa asfáltica, el transporte de pasajeros y carga, ocasionando daños económicos.

Figura 65. Deslizamiento traslacional estabilizado hacia el NW, **en el margen izquierdo** de la vía que conduce desde Enciso a San José de Miranda, Santander. Coordenadas: X=1.149.660; Y=1.227.245; h=1715 m.



Por la vía que va del Municipio de Enciso hacia San José de Miranda en el margen izquierdo (E29). Movimiento en masa catalogado como deslizamiento rotacional (**Figura 66**) de aproximadamente 20 metros de alto y 35 metros de ancho. Ese movimiento tiene importancia media debido a que se encuentra estabilizado y controlado. Pudo afectar viviendas, ganado, cultivos y la capa asfáltica dejando incomunicados los Municipios de Enciso y San José de Miranda generando daños económicos y de infraestructura.

Figura 66. Deslizamiento Rotacional estabilizado hacia el NW, en el margen izquierdo de la vía que conduce desde Enciso a San José de Miranda desde Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.149.331; Y=1.226.656; h=1779 m.



Municipio de Enciso a la altura de la vereda conocida como El Mango-La Loma del Negro (E40), se encuentra un movimiento en masa que corresponde a caída de rocas (**Figuras 67 y 68**) de importancia media. Este movimiento se genera a partir de la caída de escombros provocados por la extracción de arenas pertenecientes a la Formación Carbonera, se observa una mala explotación de la cantera.

Figura 67. Caída de rocas debido a escombros generados por la extracción de arenas hacia el SE, panorámica hacia la Vereda El Mango – La Loma del Negro Municipio de Enciso, Santander.



Figura 68. Caída de rocas debido a escombros generados por la extracción de arenas, hacia el NE en la Vereda El Mango – La Loma del Negro, Municipio de Enciso, Departamento de Santander, se aprecia una cantera con caída de rocas debido extracción de arenas. Coordenadas: X=1.152.524; Y= 1.224.393; h=1424 m.



6.1.6 Inventario de movimientos en masa

Tabla 19. Coordenadas de movimientos en masa registrados como inventario.

Estación	COORDENADAS			Tipo de Movimiento
	X	Y	Altura (m)	
E6	1149122,25	1228962	2020	Flujo de Detritos
E17	1151414,87	1230233,39	1548	Caída y Deslizamiento Traslacional
E18	1151281,23	1227636,5	1407	Caída y Deslizamiento Traslacional
E41	1152611	1224321	1475	Caída de Rocas y Detritos
E45.2	1153547	1224876	1593	Caída y Deslizamiento Rotacional
E47	1149296,88	1218730,6	1114	Deslizamiento Rotacional

Movimiento en masa (E6) con dimensiones de aproximadamente 200 metros de alto y 90 metros de ancho, que se observa desde una panorámica hacia la parte de contra pendiente, por tal razón la ubicación tuvo que ser proyectada para dar unas coordenadas más cercanas a las reales al movimiento. Corresponde a un

flujo de detritos (**Figura 69**) de importancia baja debido a su ubicación, la cual a un futuro o por otro movimiento en masa no afectaría o no causaría daños a vidas o de tipo económico ni de infraestructura.

Figura 69. Flujo de detritos hacia el Este. Fotografía tomada desde el margen izquierdo de la vía que conduce de Málaga a San José de Miranda, Santander. Hacia el Este se observa un flujo de detritos. Coordenadas: X=1.149.122,25; Y=1.228.962; h=2020 m.



En el Municipio de Enciso, cauce arriba del Río Servitá, hacia el lado Oeste del río (E17), se encuentra un movimiento en masa de alta importancia con dimensiones de aproximadamente 70 metros de alto y 90 metros de ancho.

El movimiento es compuesto (**Figura 70**); presenta como primer movimiento caída de rocas y detritos; como segundo movimiento se observa un deslizamiento traslacional. El movimiento está en estado activo y tiene una edad aproximada de 6 a 10 años. Se observa una erosión moderada, presentando surcos. A las causas de este movimiento se le atribuyen ciertos contribuyentes como las lluvias, la socavación pata del talud por corriente de agua, y margen del rio; como detonantes estarían presentes los sismos, la erosión pluvial y fluvial. Se le debe prestar atención prioritaria porque puede afectar las viviendas que se encuentran próximas al borde del movimiento, causando posibles daños económicos como a la ganadería, la agricultura, la infraestructura incluso podría ocasionar pérdidas de vidas. También obstruiría el paso del rio Servitá parcial o totalmente.

Figura 70. Movimiento compuesto hacia el Norte. Presenta caída de rocas y detritos como primer movimiento y deslizamiento traslacional como segundo movimiento. En el Municipio de Enciso, Santander, cauce arriba del Río Servitá, hacia el lado Oeste del rio. Coordenadas: X=1.151.414,87; Y=1.230.233,39; h=1548 m.



Movimiento es masa de importancia media ubicado al borde Oeste del rio Servitá (E18), con dimensiones de aproximadamente 50 metros de alto y 80 metros de ancho, compuesto por material sedimentario conglomerático correspondiente a un deposito aluvial, se observan clastos que varían de tamaños arenas a cantos y

guijos. Es un movimiento activo compuesto por caída de roca y detritos, **(Figura 71)** deslizamiento traslacional y flujo de detritos.

Presenta erosión moderada y se observan surcos, el terreno esta medianamente deformado y se aprecia una ondulación leve. Como uso del suelo se puede observar vivienda, ganadería y agricultura, gran parte está sin cobertura, el resto está cubierto por pastos y cultivos. Se requiere una atención rápida a este movimiento ya que pone en peligro vidas humanas y daños económicos como en la ganadería, agricultura e infraestructura. Un detonante para tal acción puede estar representado por un sismo y lluvias intensas debido a que también está actuando como contribuyente la carga en la corona del talud, la ausencia de vegetación, y la socavación por el margen del rio en la pata del talud.

Figura 71. Movimiento compuesto hacia el Oeste. Presenta caída de rocas y detritos como primer movimiento y deslizamiento traslacional como segundo movimiento. Municipio de Enciso, Departamento de Santander, cauce arriba del Río Servitá, hacia el lado Oeste del rio. Coordenadas: X=1.151.281,23; Y=1.227.636,5 h=1407 m.



En la Vereda El Mango-Loma el Negro en el Municipio de Enciso (E41) se encuentra un movimiento en masa de aproximadamente 60 metros de alto y 120 metros de ancho. Movimiento causado por la mala explotación de una cantera de arena. Se ve claramente la caída de rocas y detritos **(Figura 72)**. La mala e ilegal

minería está siendo el mayor contribuyente y detonante para este movimiento que por su mala extracción podría causar carga en la corona del talud y ocasionar daños a vidas y daños económicos a un futuro cercano, por tal razón se debe prestar atención inmediata a este movimiento.

Figura 72. Caída de rocas y detritos hacia el NE, en la Vereda El Mango-Loma el Negro Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.152.611; Y=1.224.321; h=1475 m.



En la Vereda El Mango-Loma el Negro en el Municipio de Enciso (E45.2) encontramos un movimiento en masa anteriormente registrado por el SIMMA. Este movimiento en masa importante que corresponde a un movimiento de tipo Caída y Deslizamiento Rotacional presenta unas coordenadas aproximadas. En este documento se presentan las coordenadas más precisas para este movimiento, el cual está activo y es de estilo complejo con distribución confinada (**Figura 73**). Sus atributos morfométricos generales fueron tomados de nuevo para corroborar con los datos ofrecidos por el SIMMA, características como diferencia de altura de la

corona a la punta, longitud horizontal corona a punta, pendiente de ladera en post y en pre-falla medida en grados, la dirección del movimiento y el azimut del talud también medida en grados nos dan una confiabilidad superior a las encontradas registradas por el SIMMA.

Figura 73. Movimiento complejo con distribución confinada, correspondiente a caída y deslizamiento rotacional hacia el NW, en la Vereda El Mango-Loma el Negro en el Municipio de Enciso, Santander. Coordenadas: X=1.153.547; Y=1.224.876; h=1593m.



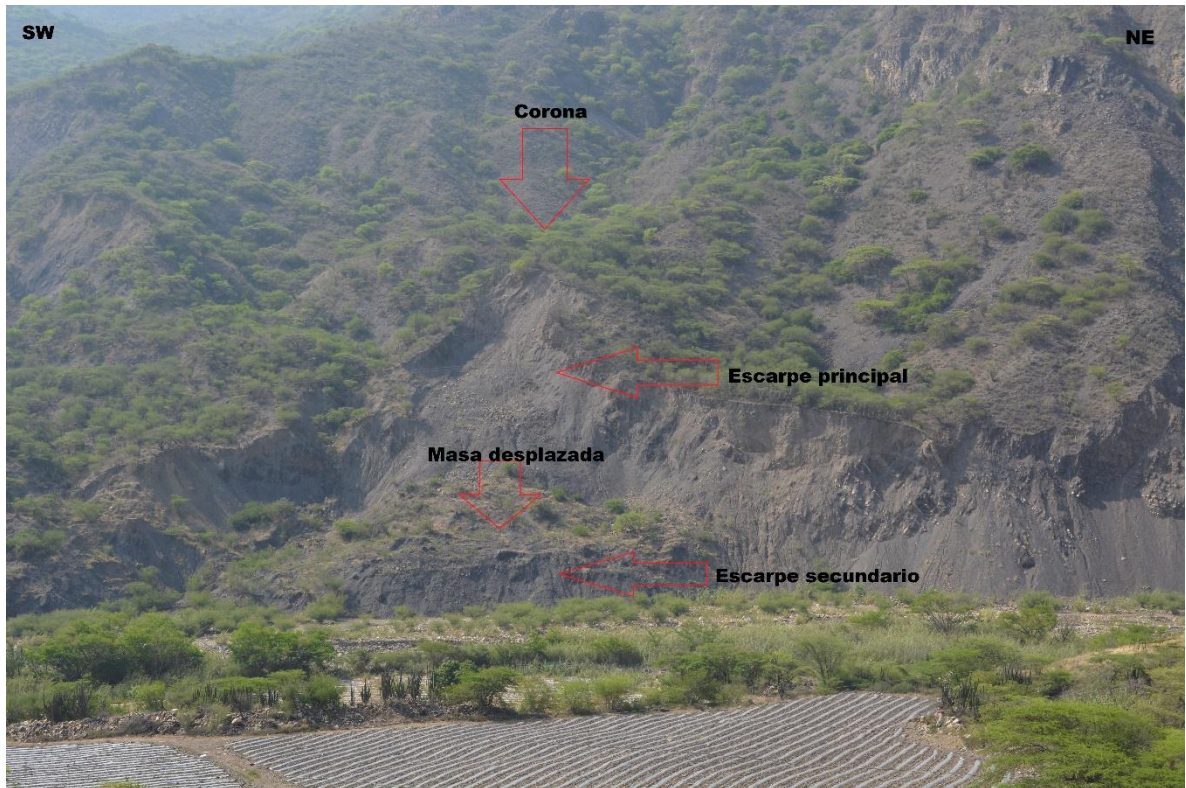
En la vereda Quebrada de Vera ubicada en el municipio de Capitanejo (E47) se encuentra un movimiento en masa relativamente joven, tiene aproximadamente 3 años y aún está activo, su estilo es único y tiene una distribución retrogresiva (Figuras 74 y 75).

El movimiento como tal es un deslizamiento rotacional cuyo material son detritos que forman un depósito aluvial como origen del suelo sedimentario, siendo coluvial el origen del suelo. Su altura es de aproximadamente 45 metros y unos 100 metros de ancho. Para la morfometría se obtuvieron valores aproximados de las dimensiones del terreno como ancho de la masa desplazada, ancho de la superficie de ruptura, longitud de la masa desplazada, longitud de superficie de ruptura, espesor de la masa desplazada, profundidad de la superficie de ruptura, el volumen de la más inicial y la desplazada, el área inicial, el área afectada, y la distancia de viaje. La erosión es reciente, se observan surcos y también está siendo afectado por socavación lateral. No presenta ningún uso del suelo y la mayor parte no tiene cobertura del suelo. Por esta razón se le otorgó una importancia baja a este movimiento.

Figura 74. Movimiento único con distribución retrogresiva hacia el NW, correspondiente a deslizamiento rotacional en la Vereda Quebrada de Vera, Municipio de Capitanejo, Santander. Coordenadas: X= 1.149.296,88; Y=1.218.730,6; h=1114 m.



Figura 75. Movimiento único con distribución retrogresiva hacia el NW, correspondiente a deslizamiento rotacional en la Vereda Quebrada de Vera, Municipio de Capitanejo, Santander. Coordenadas: X= 1.149.296,88; Y=1.218.730,6; h=1114 m.



A partir de la unión de los atributos de Morfogénesis, Morfometría y Morfodinámica se genera el mapa de Susceptibilidad por Geomorfología a escala 1:25.000, como se muestra en el **ANEXO J**. Este mapa a su vez, tiene gran importancia para determinar la Susceptibilidad Final por Movimientos en Masa.

6.3 SUELOS TAXONÓMICOS

La génesis de los suelos parte de un estado litológico y su evolución los lleva a un momento en el tiempo en el que tendrán una capacidad y respuesta ante la dinámica de las coberturas vegetales, la incidencia del clima y la intervención humana. Para inferir esa capacidad y respuesta, en esta ocasión, orientada a la posibilidad de deterioro y movimientos del suelo y estimar que tan susceptible o predispuesto este a movimientos en masa, se requiere evaluar características a partir de algunas variables propias de la condición natural de los suelos y otras que se pueden deducir (SGC, 2013).

6.4 COBERTURA VEGETAL

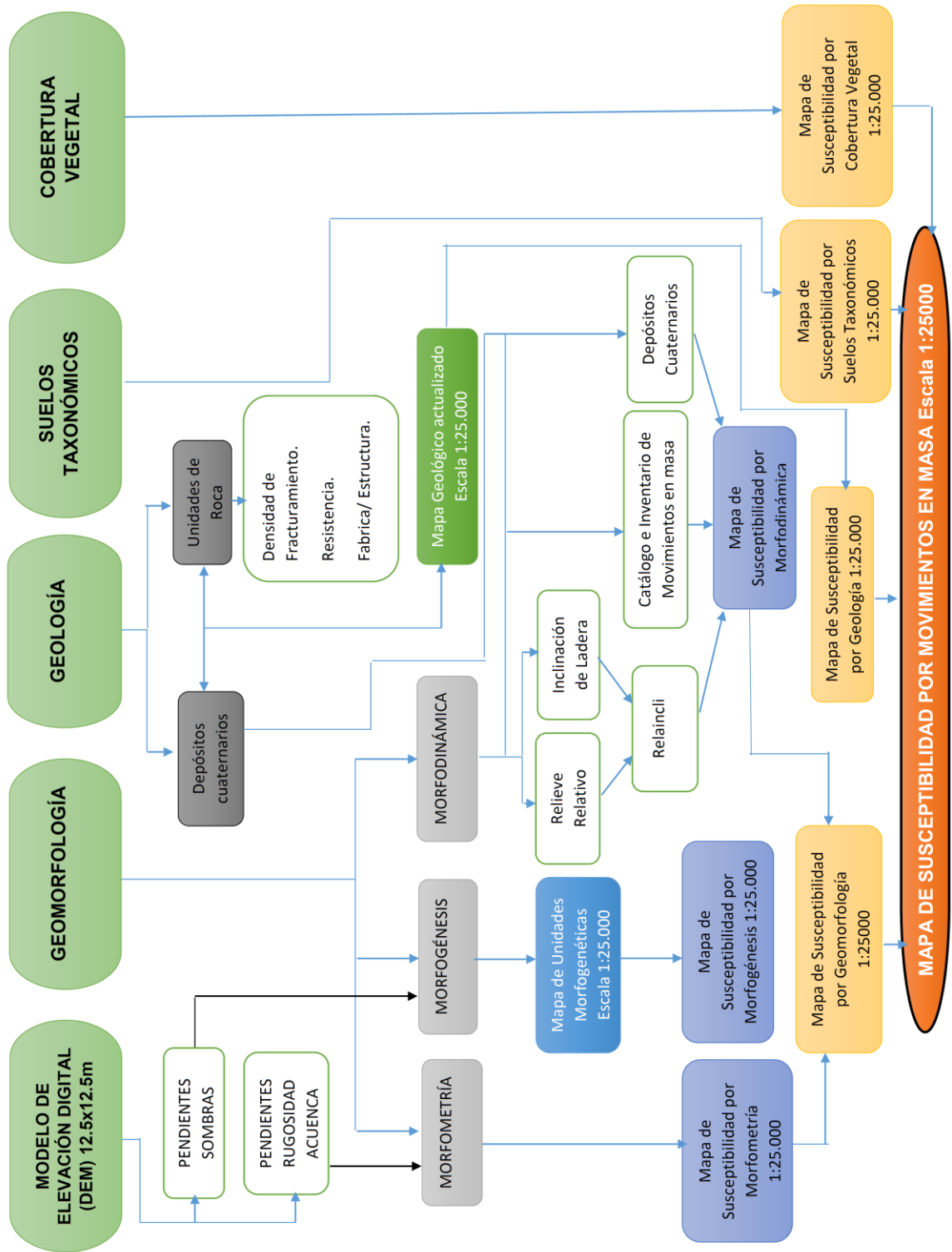
La cobertura de la tierra es un resultado de la interacción de la dinámica natural geológica, geomorfológica, los suelos, el clima y sistemas de comunidades bióticas, interrumpida por el hombre para su supervivencia y desarrollo. Dicha interrupción genera o contribuye a la aparición de diferentes procesos como afectación en la evolución de las especies, deterioro de ecosistemas, cambios en el patrón de ciclos hidrológicos, cambios en las formas del relieve (en gran número de casos en forma negativa produciendo movimientos en masa, flujos, avalanchas, erosión) (SGC, 2013).

7. PROCESO DE MODELAMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD

El proceso de modelamiento para el análisis de susceptibilidad se realiza teniendo como referencia el método heurístico planteado en el “Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000”, y se basan en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de movimientos en masa. Este método se utilizan para trabajar a escalas medias que varían entre 1:100.000 y 1:25.000 para este caso, y se basan en índices de clasificación y calificación a partir del criterio de un experto y un proceso analítico jerárquico (SGC, 2012).

En la **Figura 76**. Se presenta el proceso de modelamiento para el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa a escala 1:25.000, teniendo en cuenta el método Heurístico.

Figura 76. Proceso de modelamiento para el análisis de susceptibilidad.



Fuente: Tomado y modificado de SGC, 2013.

7.1 SUSCEPTIBILIDAD GEOLÓGICA

El mapa de susceptibilidad geológica se genera a partir de los parámetros de roca y depósitos cuaternarios. En cuanto a la roca se tienen en cuenta la densidad de fracturamiento, fabrica/ estructura y resistencia, clasificados y calificados como se muestra en las **(Tablas 2, 4, 5)**. Mediante algebra de mapas se suman cada uno de los atributos con sus respectivas ponderaciones.

Por otro lado, se lleva a cabo la actualización de los depósitos cuaternarios y se les asignan las calificaciones de acuerdo a la **(Tabla 8)**. Por último se genera la unión entre los mapas de roca y depósitos, obteniendo como resultados el mapa geológico actualizado **(Figura 77)** y el mapa de susceptibilidad geológica **(Figura 78)**.

Figura 77. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad geológica.

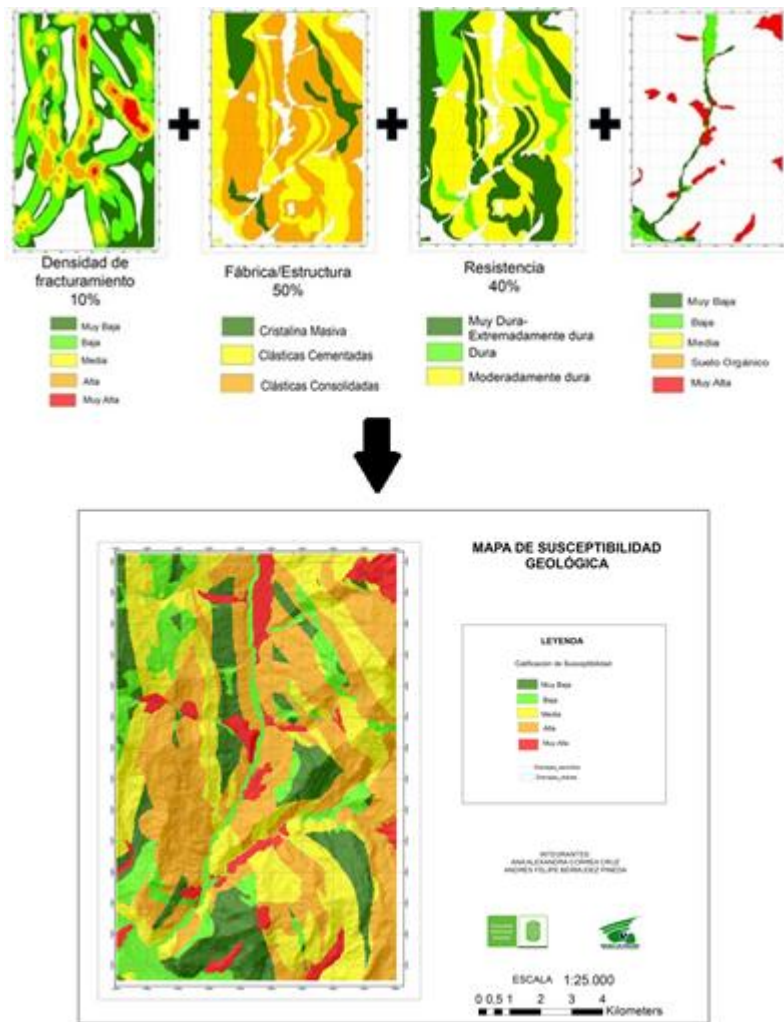
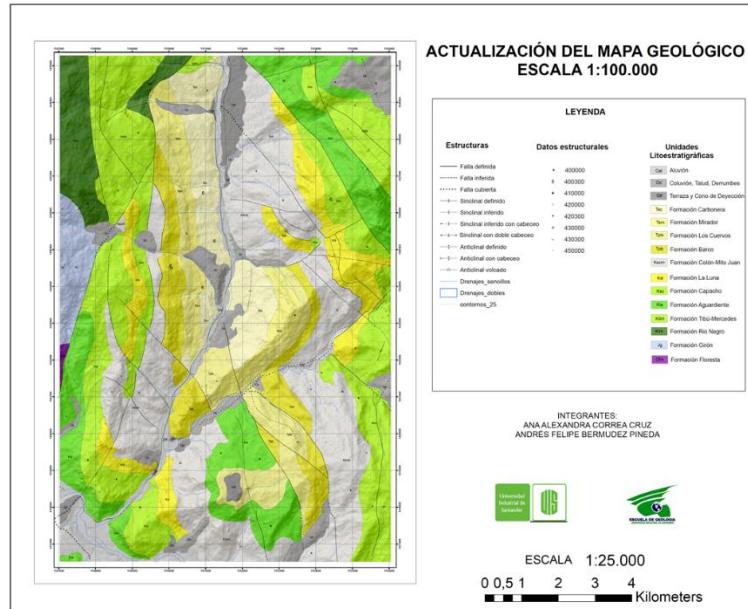


Figura 78. Actualización del mapa Geológico



7.2 SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLÓGICA

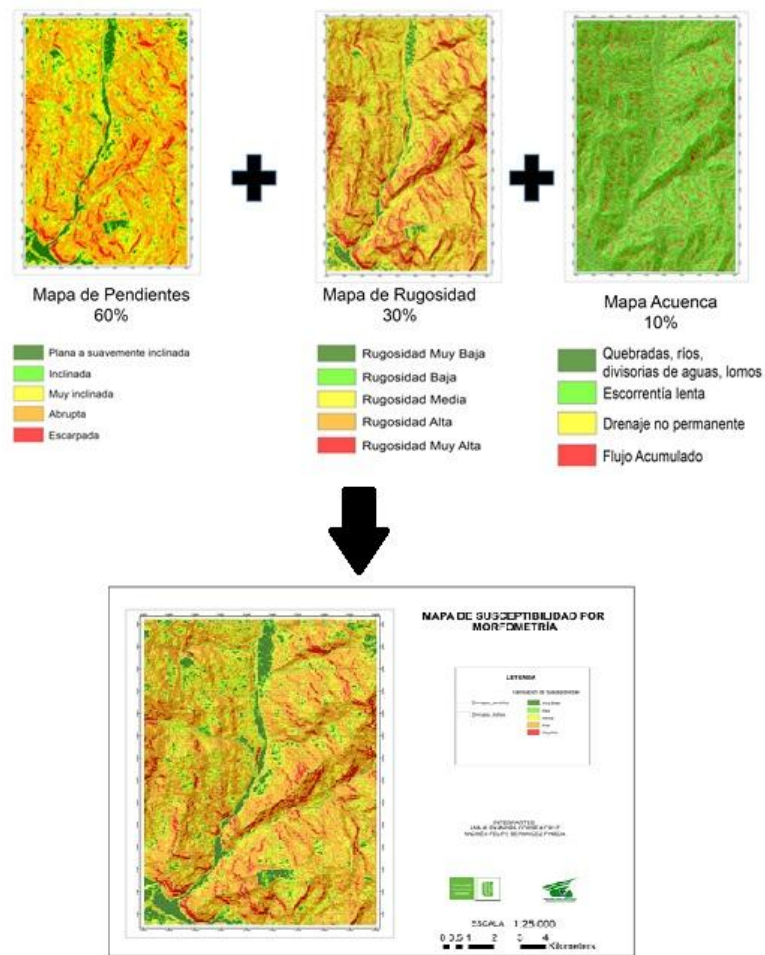
Este atributo para la susceptibilidad final, comparado con los demás atributos, realiza el mayor aporte de información tanto geométrica como espacial y brinda una información implícita de materiales y de los factores que afectan la estabilidad de un terreno. La geomorfología como función representativa de la dinámica actual del relieve y que define los criterios de agrupación y clasificación de las geoformas, involucra además información pertinente a la naturaleza y comportamiento de los materiales constituyentes de dicha geoforma y de los materiales de cobertura (SGC, 2013).

Las preferencias de las variables elegidas: morfometría, morfogénesis y morfodinámica, se establece en los requerimientos de información geométrica, condiciones heredadas y la tendencia actual de las unidades morfológicas a generar movimientos en masa (SGC, 2013).

7.2.1 Susceptibilidad Morfometría. Teniendo como base el Modelo de Elevación Digital (DEM), se obtienen las variables de pendiente, rugosidad y acuenca. A cada una de ellas se le asignan calificaciones para determinar la susceptibilidad que van de 1 (susceptibilidad muy baja) a 5 (susceptibilidad muy alta), como se muestra en las (Tablas 11, 12 y 13).

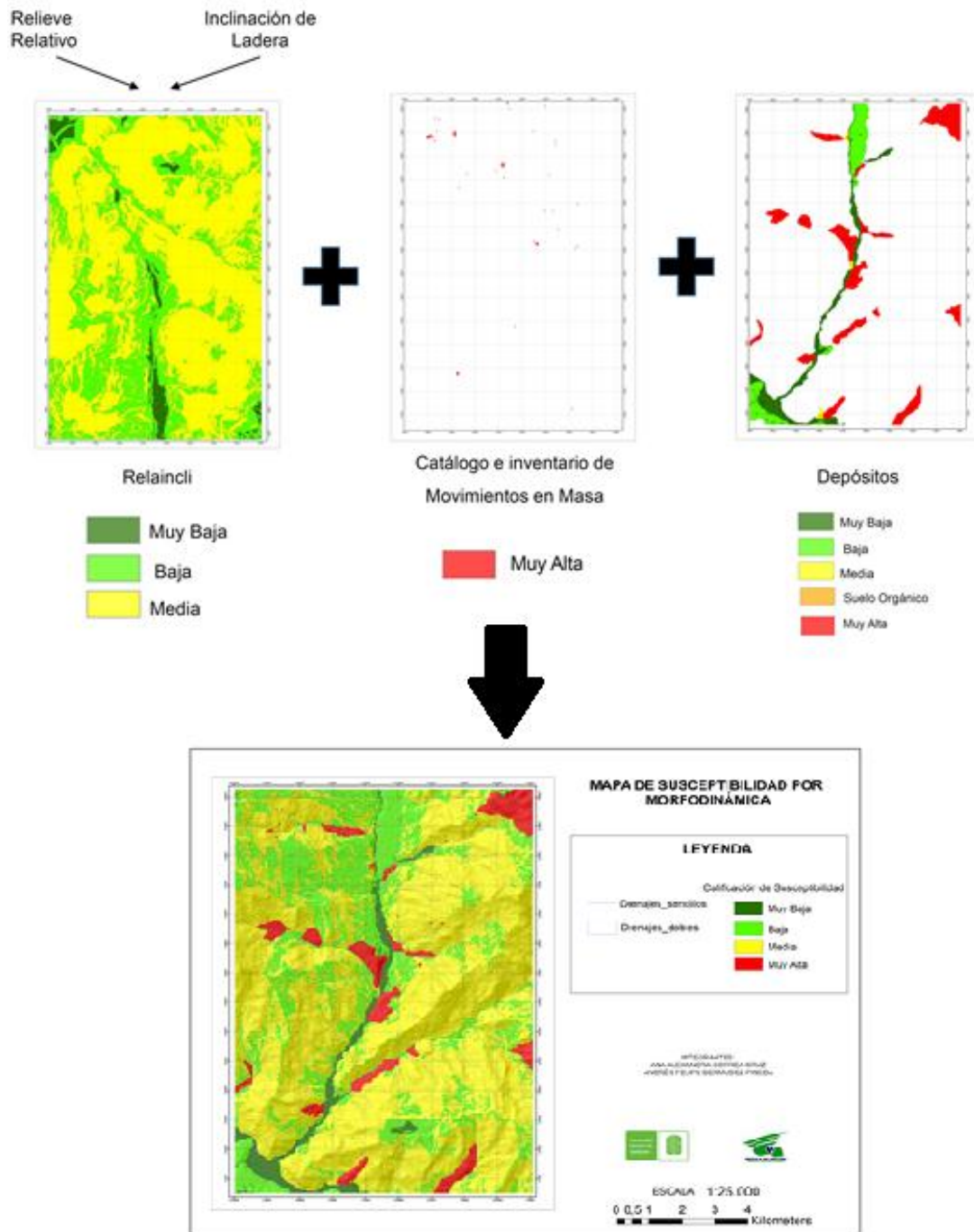
Posteriormente se realiza un algebra de mapas donde se suman cada una de las variables, multiplicadas a su vez por el valor porcentual asignado, y de esta manera se obtiene el mapa de susceptibilidad por morfometría (Figura 79).

Figura 79. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Morfometría.



7.2.2 Susceptibilidad Morfodinámica. Para el proceso de modelamiento morfodinámico es necesario generar los mapas de: Relaincli, el cual se genera a partir de operaciones entre el Relieve relativo y la inclinación de ladera, con sus respectivas calificaciones como se observa en las **Tablas 14, 15**; movimientos en masa, tomando como referencia tanto los movimientos registrados por el SIMMA como los movimientos registrados durante la fase de campo; mapa de depósitos actualizado (el cual también es utilizado para generar la susceptibilidad geológica). El paso siguiente consiste en hacer la unión entre estos tres mapas, generando de este modo el mapa de susceptibilidad morfodinámica **(Ver Figura 80)**.

Figura 80. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Morfodinámica.

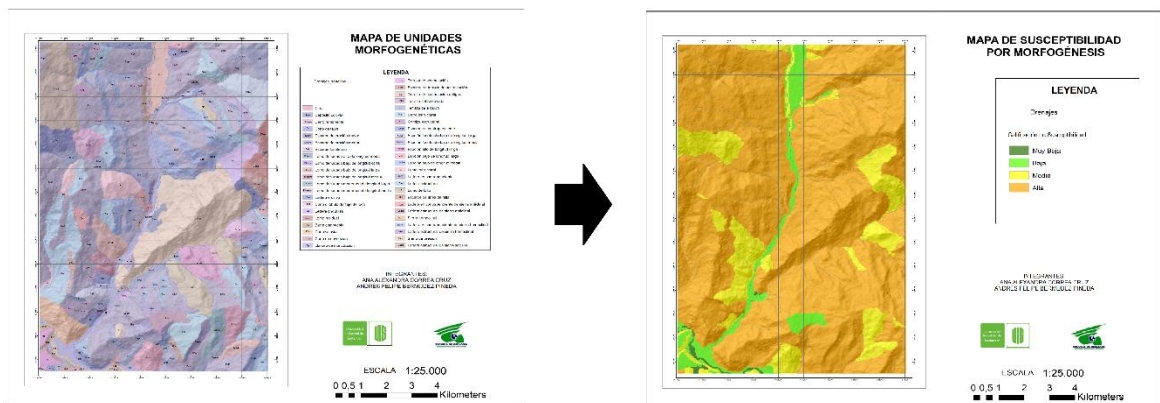


7.2.3 Susceptibilidad Morfogénesis. La susceptibilidad por morfogénesis se obtiene partiendo de la interpretación, clasificación y control de campo de las

unidades morfogénicas y sus ambientes presentes en la zona de estudio. De este modo se obtiene el mapa de unidades morfogénicas a escala 1:25.000.

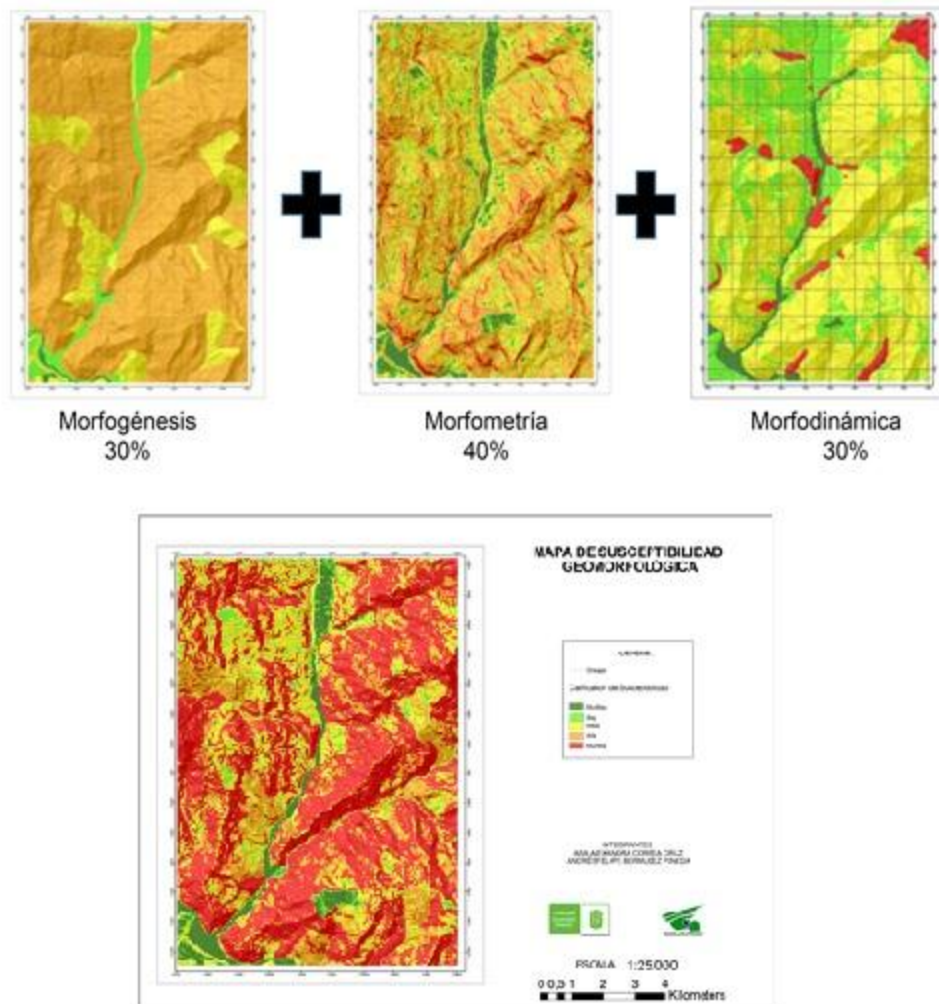
Teniendo este producto se procede a la asignación de calificaciones a cada una de las unidades, tomando como referencia el ambiente, origen, proceso genético y modelado (**Tabla 9**), y de este modo se obtiene el mapa de susceptibilidad morfogénica (**Figura 81**).

Figura 81. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Morfogénesis.



A partir de la suma de las variables morfometría, morfodinámica y morfogénesis con su respectivo peso porcentual se obtiene el mapa de susceptibilidad por Geomorfología como se muestra en la **Figura 82**

Figura 82. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Geomorfología.

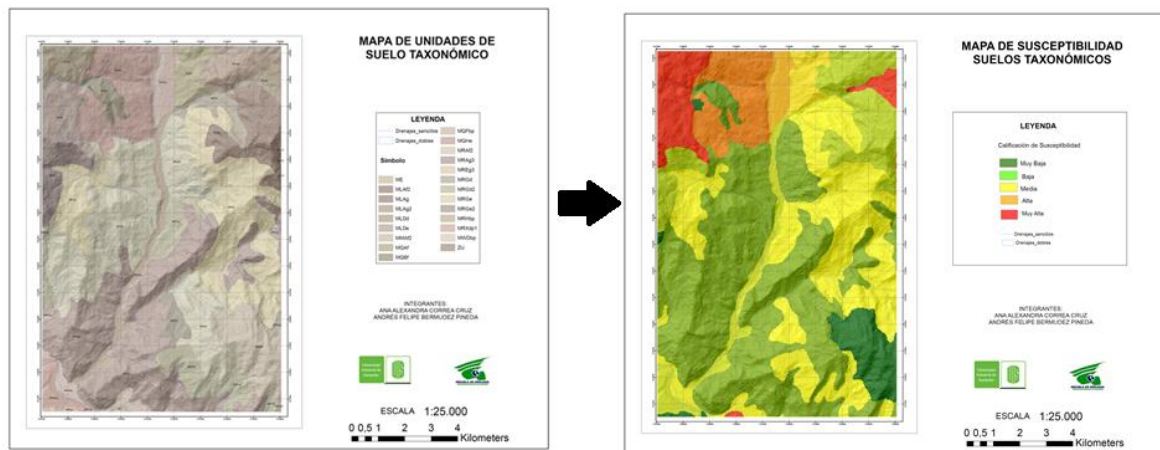


7.3 SUSCEPTIBILIDAD SUELOS TAXONÓMICOS Y COBERTURA VEGETAL

Tanto las unidades de suelos taxonómicos como las unidades de cobertura vegetal presentan calificaciones de acuerdo a las características y clasificación de cada una de ellas. A partir de estos mapas suministrados como se ha descrito anteriormente por el proyecto “Mapa Nacional de Susceptibilidad y Amenaza

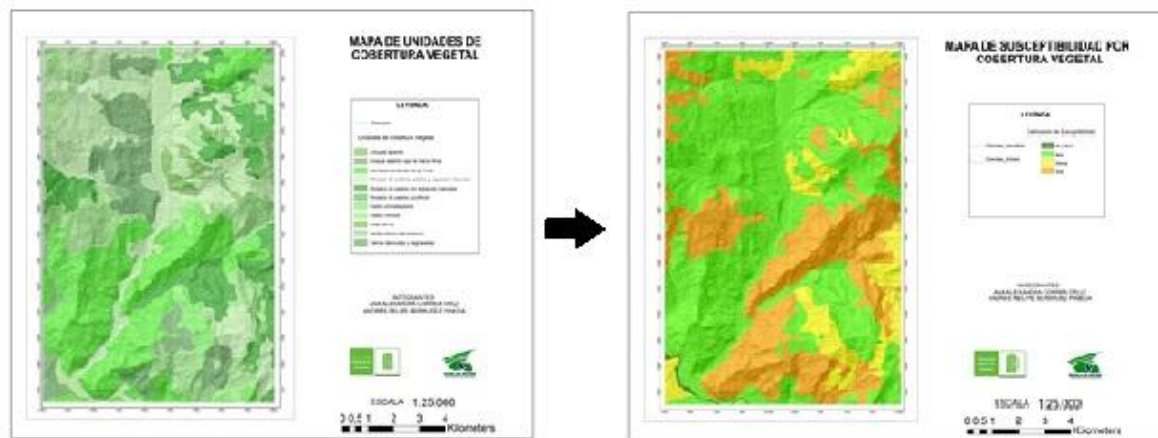
relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000” contemplado en el Convenio especial de Cooperación No. 009 entre el SGC y la UIS, y modificados se generan los mapas de susceptibilidad tanto de suelos taxonómicos (**Figura 83**) como de cobertura vegetal (**Figura 84**) para utilizarlos como insumos secundarios para el modelo de susceptibilidad a escala 1:25.000.

Figura 83. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Suelos taxonómicos.



Fuente: SGC-UIS, 2013.

Figura 84. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por Cobertura Vegetal.



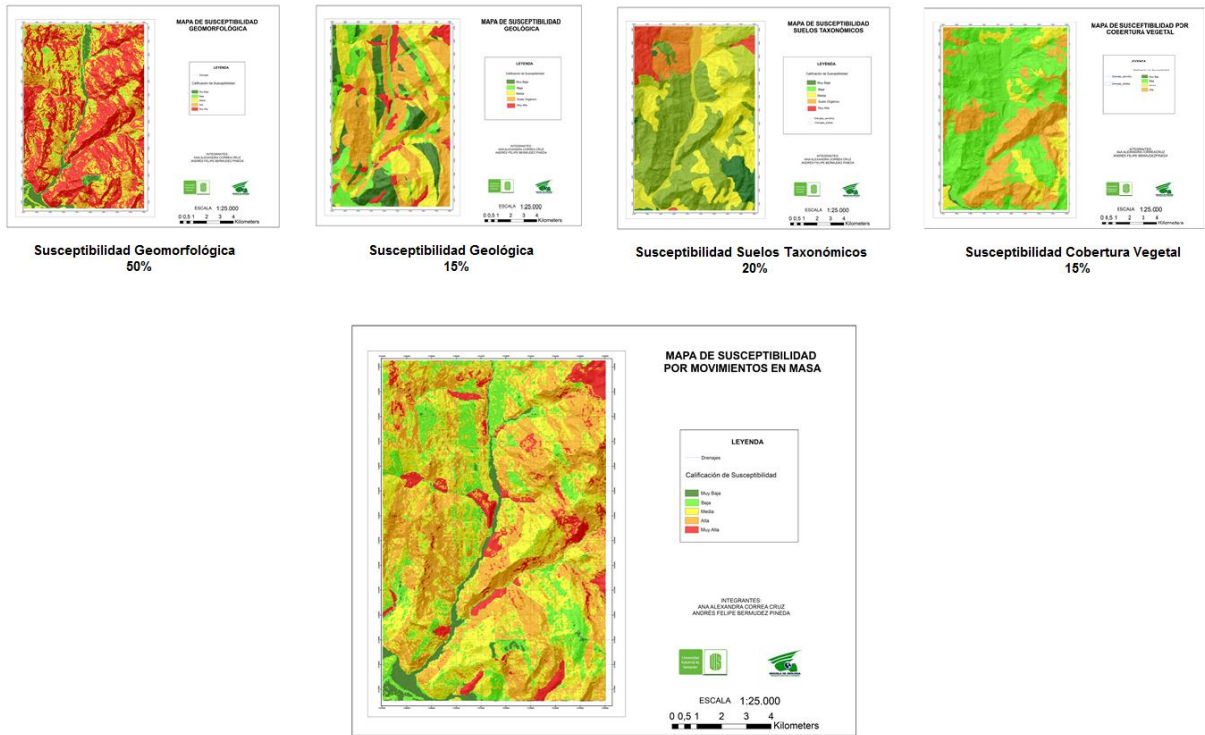
Fuente: SGC-UIS, 2013

7.4 SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

Para la caracterización de la zonificación de susceptibilidad el Servicio Geológico (SGC, 2013) define cinco rangos de clasificación en el “Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000”. Esta clasificación será utilizada como base para determinar la Susceptibilidad por movimientos en masa en el área de estudio, teniendo en cuenta la variación de las calificaciones muy baja, baja, media, alta y muy alta.

Para elaborar el mapa de Susceptibilidad por movimientos en masa, se requiere utilizar cada una de las variables anteriormente descritas (geología, geomorfología, cobertura vegetal, y suelos taxonómicos), mediante algebra de mapas se realiza la suma entre estas variables con su peso porcentual correspondiente, como se muestra en la **Figura 85**.

Figura 85. Procedimiento para el modelamiento de la susceptibilidad por movimientos en masa.



8. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

Debido a que la zona de estudio está enmarcada dentro de lo que se conoce como el Sinclinal de Servitá, controlado estructuralmente por el paso de la Falla del Río de su mismo nombre, se puede inferir que corresponde a una zona estructuralmente compleja que sumada con la geología y geomorfología presentes en el área pueden llegar a representar factores de gran importancia a la hora de generar un estudio de Susceptibilidad por movimientos en masa. Los mapas generados a partir de procesos de interpretación y análisis de los factores que influyen en la generación de movimientos en masa, permitieron determinar qué zonas son más susceptibles a ser afectadas por dichos movimientos.

Las calificaciones de susceptibilidad para el área de estudio, en donde la susceptibilidad es muy baja presentan pendientes planas a suavemente inclinadas (0-7°), rugosidad muy baja, divisorias de aguas, quebradas y ríos; geoformas de ambiente fluvial como el cauce del río Chicamocha asociados a depósitos aluviales de cauce y llanura aluvial.

Las zonas de susceptibilidad baja presentan pendientes inclinadas (7-11°), rugosidad de baja a media y escorrentía lenta; geoformas de origen fluvial y denudacional como depósitos coluviales, terrazas de acumulación antigua, llanura de inundación; depósitos de terraza y llanura aluvial asociados a depósitos de ladera que provienen de antiguos movimientos en masa; suelos alfisoles; arbustales densos y drenajes profundos.

Las zonas de susceptibilidad media presentan pendientes muy inclinadas que varían entre 11 y 19° rugosidad de baja a alta y drenajes no permanentes; geoformas de origen denudacional como lomos denudados, laderas erosivas y depósitos coluviales; se caracteriza por presentar rocas clásticas cementadas

moderadamente duras de las Formaciones Barco, Aguardiente, Girón; suelos vertisoles; cobertura vegetal compuesta por arbustales abiertos y drenajes moderadamente profundos.

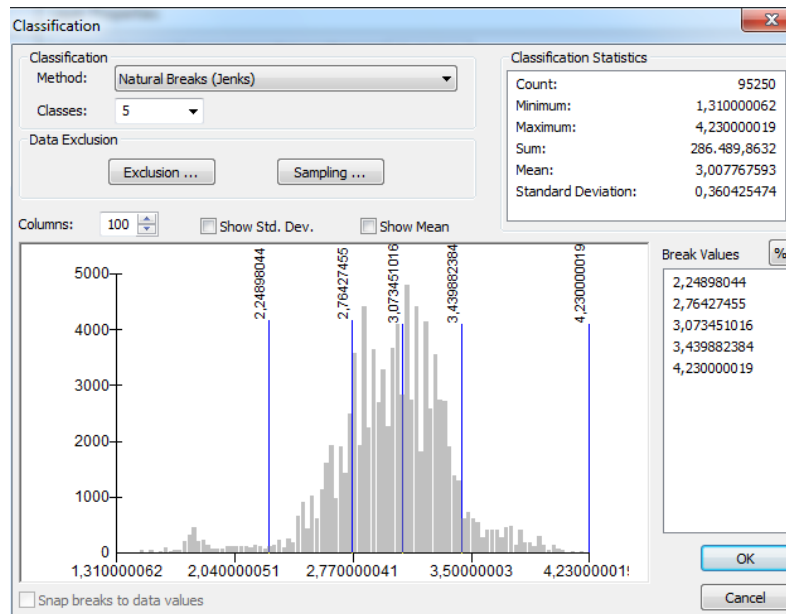
La zona de susceptibilidad alta presentan pendientes abruptas que varían entre 19° y 40°; geoformas de origen denudacional y estructural donde se destacan depósitos coluviales, lomos denudados y laderas erosivas principalmente; rocas clásticas consolidadas que presentan comportamientos variables a los esfuerzos compresivos, rocas de las Formaciones La Luna, Colón – Mito Juan, Capacho, Los Cuervos, Carbonera; algunos depósitos de terraza sobre-elevadas asociadas a planicies y Terrazas Antiguas, caracterizadas por procesos de erosión, depositación e incisión fluvial; suelos aridisoles, cobertura vegetal compuesta principalmente por áreas agrícolas y drenajes superficiales.

Las zonas más susceptibles por movimientos en masa presentan pendientes de abruptas a escarpadas, rugosidad de media a alta y flujos acumulados; geoformas de origen principalmente estructural y denudacional hacia los flancos Este y Oeste del Río Servitá como laderas estructurales, laderas de contrapendiente, escarpes de contrapendiente, sierras de presión y cerros estructurales, entre otras; movimientos en masa recientes y sub-recientes asociados a depósitos coluviales caracterizados por el transporte y depositación de materiales debido a procesos hidrogravitacionales

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos determinar el grado de Susceptibilidad por movimientos en masa en el área de trabajo, la cual corresponde principalmente a Susceptibilidad media a alta, teniendo en cuenta las calificaciones obtenidas en el mapa de susceptibilidad en donde predominan calificaciones superiores a 3 como se observa en la **Figura 86**. Caracterizada por pendientes que sobrepasan los 19 grados, unidades geomorfológicas de origen

predominantemente Estructural y Denudacional con presencia de depósitos coluviales de poca extensión principalmente.

Figura 86. Valores para de la Susceptibilidad por movimientos en masa en el área de estudio.



9. CONCLUSIONES

La cartografía geomorfológica permite la caracterización de diferentes ambientes morfogenéticos y sus respectivas unidades geomorfológicas que identifican el origen, los procesos que forman el paisaje y sus cambios a través del tiempo. Gracias a esto, es posible evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa que se pueden presentar en la zona de interés.

En el área de estudio se pudieron identificar 3 ambientes morfogenéticos diferentes; morfoestructural, denudacional y fluvial. La configuración actual de la zona es el resultado de procesos endogenéticos y exogenéticos que dieron origen a las diferentes unidades geomorfológicas, que caracterizan el paisaje y que va cambiando en diversos grados de intensidad a diferentes intervalos de tiempo geológico.

Los ambientes morfogenéticos están distribuidos de manera heterogénea a lo largo y ancho de la zona de estudio, siendo el ambiente morfoestructural el más representativo del área con geoformas imponentes tales como sierras homoclinales (Ssh), sierras y lomos de presión (Sslp), espolones de diferentes longitudes, lomos de falla (Slf), laderas de sierras anticlinales etc. Seguido por el ambiente denudacional con geoformas características como lo son escarpes de erosión, lomos denudados de todas las longitudes, escarpes faceteados, etc. Por último, con menor proporción pero no menos importante está el ambiente fluvial con sus unidades representativas como cauces activos (Fca), conos de deyección (Fcdy), terrazas antiguas y recientes con sus respectivos escarpes de terraza.

Se caracterizaron 16 movimientos en masa a lo largo de la zona de estudio, de los cuales 11 clasificaron para catálogo y 5 para inventario de movimientos en masa según la metodología propuesta por el Servicio Geológico, y se determinó que el

mayor porcentaje de los movimientos se deben a deslizamientos traslacionales, principalmente activos, suspendidos y controlados.

Como factores contribuyentes a estos procesos de inestabilidad de laderas se encontró que la actividad antrópica es la mayor causante debido a sus actividades agropecuarias, cortes de vías, y manejo deficiente del drenaje superficial; también algunas geoformas de origen morfoestructural son susceptibles a movimientos en masa de acuerdo con a la disposición estructural de los estratos que la conforman. Siendo más frecuentes cuando las capas de los taludes naturales presentan inclinaciones desfavorables con respecto a estos.

Las pendientes predominantes en la zona oscilan entre los 19 grados, aunque también se presentan pendientes bajas principalmente hacia la parte central del área de trabajo, lo que corresponde al cauce y planicie de inundación del Río Servitá.

La susceptibilidad por Morfometría presenta rangos que varían de 3 a 5 en la calificación, lo cual supone un grado de susceptibilidad que varía entre media, alta y muy alta; la susceptibilidad por morfogénesis muestra que las zonas con mayor calificación de susceptibilidad y que se encuentran predominantemente en la zona corresponden a geoformas de origen estructural y denudacional principalmente. Las geoformas de ambiente fluvial presentan calificaciones menores y por ende menor grado de susceptibilidad.

El grado de Susceptibilidad por movimientos en masa en el área de trabajo, corresponde principalmente a Susceptibilidad media a alta, y se toma como aporte a trabajos posteriores asociados a movimientos en masa en el área de estudio, la cual corresponde con un área propicia para la generación de movimientos tipo deslizamientos, flujos, caídas de suelos y rocas principalmente, además de presentarse procesos erosivos como surcos y cárcavas, y en algunos casos

debido al mal uso de la tierra se puede llegar a presentar terraceo debido a la actividad ganadera predominante en la zona.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar obras de reforestación y estabilización de taludes con el fin de controlar los movimientos en masa en masa recientes y sub-recientes que están asociados principalmente a depósitos coluviales, y que se caracterizan por el transporte y depositación de materiales debido a procesos hidrogravitacionales, y prevenir futuros movimientos en masa que puedan generar afectaciones tanto a la población civil, infraestructura y medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

Alcaldía de Capitanejo 2003. Esquema de Ordenamiento Territorial Municipal. Santander-Colombia.

Alcaldía de Enciso, 2003. Esquema de Ordenamiento Territorial Municipal. Santander-Colombia.

Alcaldía de Málaga, 2003. Esquema de Ordenamiento Territorial Municipal. Santander-Colombia.

Alcaldía de San José de Miranda, 2002. Esquema de Ordenamiento Territorial Municipal. Santander-Colombia.

Barragán, E., y Forero, A. 2014. Análisis mesoestructural en el corredor aledaño al Rio Servita entre Enciso y el Rio Chicamocha, Santander. Trabajo de Grado, Escuela de Geología. UIS.

Bayona, G., Cortés, M., Jaramillo, C., Ojeda, G., y Aristizabal, J. 2008. An integrated analysis of an orogen–sedimentary basin pair: Latest Cretaceous–Cenozoic evolution of the linked Eastern Cordillera orogen and the Llanos foreland basin of Colombia. *GSA Bulletin*, 120 (9/10): 1171–1197

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). 2012. Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011. Bogotá: Misión BID - Cepal.

Consejo municipal para la gestión del riesgo de desastres (CMGRD), 2013. Plan municipal de gestión del riesgo de desastres Municipio de San José de Miranda.

Corredor, F., 2003. Eastward extent of the late Eocene early Oligocene onset of deformation across the northern Andes: constraints from the northern portion of the eastern Cordillera fold belt, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 16 (6): 445-457.

Dávila, J., 2011. *Diccionario Geológico*. INGEMMET.

Felicísimo, A., 1994. *Modelos Digitales de Terreno. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales*. 14 de enero 2008.

Geoportal Instituto Colombiano Agustin Codazzi. <http://geoportal.igac.gov.co/>.

Grupo de estándares para movimientos en masa (GEMMA), 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*. 342p. *Informe de Geología y Geotecnia Capítulo IV, Tramo Cambao- Manizales. Versión No. 4*.

Hernández, D., 2014. *Contribución a los estudios de Geomorfología para la zonificación de amenaza relativa por movimientos en masa en la Plancha 110-Pamplona (Escala 1:100.000), al Centro –Oriente del Macizo de Santander*. Trabajo de Grado Escuela de Geología UIS.

Ingeominas, 1984. *Geología de la Plancha 136-Málaga*.

Ingeominas, 2005. *Estudio de Microzonificación Sísmica de Santiago de Cali*, Convenio No.02 de 2002.

Ingeominas, 2010. *Mapa Nacional de amenaza relativa escala 1:500.000, plancha 5-06*. Acuerdo específico 005 de 2010.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2012. Proyecto Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial (SIGOT). <http://sigotn.igac.gov.co/>.

JPS Ingeniería, 2014. Factibilidad, estudios y diseños para la construcción de un paso vehicular sobre la Quebrada la Hoya del Ramo, Localidad de Usme Bogotá.

Kammer, A., 1993. Steeply Dipping Basement Faults and Associated Structures of the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *Geología Colombiana*, 18: 47-62.

Luzio, W., 1982. Taxonomía de Suelos. Un sistema básico de clasificación de suelos para hacer e interpretar reconocimientos de suelos. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales de la Universidad de Chile, Chile.

Portilla, M., 1999. Evaluación de la Amenaza por Deslizamiento en Málaga, Santander, aplicando la Metodología de los Conjuntos Difusos: Un Tema de Geología Ambiental. Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. *GEOLOGIA COLOMBIANA*, 24, p. Santafé de Bogotá Colombia.

Rincón, J., 2014. Contribución a los estudios de Geomorfología para la zonificación de Amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:100.000 en la Sierra Nevada del Cocuy (Planchas 137 y 153). Trabajo de Grado Escuela de Geología UIS.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC), 2012. Documento metodológico de la zonificación y amenaza relativa por movimientos en masa. Escala 1:100.000. Bogotá D. C. 135p.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC), 2013. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa. Escala 1:100.000. Versión No. 2 Bogotá D. C. 158p.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC), 2013. Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas, ANEXO 3.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC), 2014. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 136-Málaga. Convenio especial 009 de 2014.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC), 2014. Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 136-Málaga. Convenio especial 009 de 2014.

Sistema de Información de Movimientos en masa SIMMA. <http://simma.sgc.gov.co>.

Suarez, J., 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos

Vesga. C., 2009. Amenaza por Movimientos en masa, en la microcuenca Quebrada La Virgen, Municipio de San José de Miranda, Departamento de Santander. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Bucaramanga. 145p.

ANEXOS

ANEXO A. FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012

ANEXO B. FORMATO MODIFICADO PARA CATÁLOGO DE MOVIMIENTOS EN MASA

ANEXO C. TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE MORFOMETRÍA PARA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA

ANEXO D. PLANCHA 136-MÁLAGA ESCALA 1:100.000

ANEXO E. MAPA DE UNIDADES MORFOGENÉTICAS ESCALA 1:25.000

ANEXO F. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MORFOGÉNESIS ESCALA 1:25.000

ANEXO G. MAPA DE PENDIENTES

ANEXO H. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MORFOMETRÍA ESCALA 1:25.000

ANEXO I. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MORFODINÁMICA ESCALA 1:25.000

ANEXO J. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA ESCALA 1:25.000

ANEXO K. MAPA DE UNIDADES DE DEPÓSITOS CUATERNARIOS ESCALA 1:25.000

ANEXO L. ACTUALIZACIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO ESCALA 1:100.000

ANEXO M. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA ESCALA 1:25.000

ANEXO N. MAPA DE UNIDADES DE SUELOS TAXONÓMICOS ESCALA 1:25.000

ANEXO O. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS TAXONÓMICOS ESCALA 1:25.000

ANEXO P. MAPA DE UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL ESCALA 1:25.000

ANEXO Q. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURA VEGETAL ESCALA 1:25.000

ANEXO R. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA