CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN
Nº. 009 DE 2013

MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000 PLANCHA 136-MÁLAGA, DEPARTAMENTOS DE SANTANDER Y BOYACÁ

Bucaramanga, Mayo de 2014

CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN
Nº 009 DE 2013

MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000 PLANCHA 136-MÁLAGA, DEPARTAMENTOS DE SANTANDER Y BOYACÁ

EQUIPO EJECUTOR-UNIVERSIDAD

M.Sc Sait Khurama Velázquez
Dirección Proyecto

M.Sc Francisco Velandia P.
Dirección Técnica Proyecto

Geol. Estefanía Castellanos S.
Geol. Oscar Forero
Geol. Jorge Leonardo Chaparro
Geomorfología

Ing. Jeiner Buitrago
Suelos Edáficos

Ing. Nicolás Andrés Bayona
Geol. Nardy Liliana Neiza
Sistema de Información Geográfica

EQUIPO ASESOR-SGC

Ing. Gloria Lucía Ruíz
Supervisión Convenio

Geol. Sofía del Rosario Navarro
Coordinadora Grupo técnico

Geol. Sofía del Rosario Navarro
PhD. Mario Andrés Cuellar
Geol. Jorge Arturo Castro
Geol. Harol Gustavo Moya
Geol. Gustavo Adolfo Trejos
Geología y geomorfología

Ing. Jesús Hernando Sandoval
Ing. Luis Antonio Barrera
Sistema de Información Geográfica

Bucaramanga, Mayo de 2014

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN 13
ABSTRACT 15
INTRODUCCIÓN 17
OBJETIVO GENERAL 18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
LOCALIZACIÓN 18
METODOLOGÍA 19
PROCESO METODOLÓGICO 27
ALCANCES 35
1. CARACTERÍSTICAS GENERALES 36
1.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS 36
1.1.1 Unidades Litológicas 37
1.1.2 Geología Estructural 50
1.2 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES 53
1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS 54
2. GEOMORFOLOGÍA DE LA PLANCHA 136-MÁLAGA 55
2.1 GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL 58
2.1.1 Cima (Dc) 58
2.1.2 Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco) 58
2.1.3 Cerro remanente o relíctico (Dcrem) 60
2.1.4 Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi) 60
2.1.5 Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (Ddrt) 61
2.1.6 Escarpe de erosión mayor (Deem) 62
2.1.7 Escarpe de erosión menor (Deeme) 63
2.1.8 Lomas denudadas (Dld) 63
2.1.9 Lomeríos disectados (Dldi) 65
2.1.10 Ladera erosiva (Dle) 66
2.1.11 Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo) 67
2.1.12 Sierra denudada (Dsd) 67
2.1.13 Terrazas sobreelevadas “colgadas” (Dts) 68
2.2 GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL Y LAGUNAR 69
2.2.1 Abanico fluviotorrencial (Faa) 69
2.2.2 Cauce aluvial (Fca) 70
2.2.3 Cono de deyección (Fcdy) 71
2.2.4 Planicie aluvial confinada (Fpac) 71

2.2.5 Plano o llanura de inundación (Fpi) 72
2.2.6 Terrazas de acumulación (Fta) 73
2.2.7 Escarpe terraza de acumulación (Ftae) 74
2.2.8 Terraza de acumulación sub-reciente (Ftas) 74
2.3 GEOFORMAS DE ORIGEN GLACIAL Y PERIGLACIAL 75
2.3.1 Conos glaciofluviales (Gcgf) 75
2.3.2 Cono y lóbulo de gelifracción (Gclg) 76
2.3.3 Flancos de valle glaciar (Gflv) 76
2.3.4 Laguna glaciar (Glg) 77
2.3.5 Plano y cono de sobrelavado glacial (Gpcs) 77
2.3.6 Plano glaciolacustrino (Gpgl) 79
2.3.7 Sierra anticlinal glaciada (Gsag) 80
2.3.8 Ladera estructural de sierra anticlinal glaciada (Gsale) 80
2.3.9 Sierra homoclinal glaciada (Gshg) 81
2.4 GEOFORMAS DE ORIGEN MORFOESTRUCTURAL 82
2.4.1 Cuesta (Sc) 82
2.4.2 Cerro estructural (Sce) 83
2.4.3 Ladera de contrapendiente de cuesta (Sclc) 83
2.4.4 Ladera estructural de cuesta (Scle) 84
2.4.5 Cornisa estructural (Scor) 84
2.4.6 Espolón faceteado (Sefc) 85
2.4.7 Espolón faceteado moderado de longitud larga (Sefcml) 86
2.4.8 Espolón festoneado (Sefes) 87
2.4.9 Espolón (Ses) 88
2.4.10 Espolón moderado de longitud media (Sesmm) 89
2.4.11 Faceta triangular (Sft) 90
2.4.12 Gancho de flexión (Sgf) 91
2.4.13 Ladera estructural escalonada (Sles) 92
2.4.14 Lomo de falla (Slf) 93
2.4.15 Escarpe de línea de falla (Slfe) 93
2.4.16 Lomo de obturación (Slo) 95
2.4.17 Escarpe de meseta (Sme) 95
2.4.18 Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc) 96
2.4.19 Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale) 96
2.4.20 Sierra anticlinal (Ssan) 98
2.4.21 Sierra homoclinal (Ssh) 99
2.4.22 Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc) 100
2.4.23 Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle) 100
2.4.24 Sierras y lomos de presión (Sslp) 100
2.4.25 Sierra sinclinal (Sss) 102
2.4.26 Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc) 102
2.4.27 Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle) 103
2.5 EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA 104
CONCLUSIONES 109

RECOMENDACIONES 110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 111

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Localización de la Plancha 136-Málaga. 19
Figura 2. Esquema de jerarquización geomorfológica (Modificado de SGC 2012)..... 22
Figura 3. Patrones de drenaje (Huggett, 2007; en SGC 2012)..... 26
Figura 4. Formato para la recolección de datos geomorfológicos, UIS (2013). 30
Figura 5. Formato para la recolección de información sobre movimientos en masa, SGC *et al*., (2013). Parte A..... 31
Figura 6. Formato para la recolección de información sobre movimientos en masa, SGC *et al*., (2013). Parte B..... 32
Figura 7. Flujograma detallado del proceso metodológico seguido en la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000 (SGC 2012). 34
Figura 8. Mapa geológico de la Plancha 136-Málaga escala 1:100.000. INGEOMINAS, 1984. 37
Figura 9. Sombreada en color rojo se presenta una Cuesta (Dc), localizada en la parte central de la zona, en el Municipio de Covarachía (Departamento de Boyacá) en el sector El Naranjo. Imagen CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 59
Figura 10. Sombreado en amarillo se muestra un Cono o Lóbulo Coluvial de Solifluxión (Dco) que se presenta hacia el extremo este de la plancha 136. Imagen CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014..... 59
Figura 11. Sombreado en verde se muestra un Cerro Remanente o Relicto (Dcrem), ubicado hacia la parte oeste, en cercanías del sector El Roble, al norte del casco urbano del Municipio de Mogotes (Departamento de Santander). Imágenes Landsat y CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 60
Figura 12. Vista SE. Cono de Deslizamientos Indiferenciados, donde su principal material es de tipo detrítico, asociado a pendientes bajas inferiores a 20°, esta zona es utilizada para agricultura y ganadería. Concepción, Santander. Las líneas blancas delimitan la geoforma. 61
Figura 13. Sombreado en violeta se muestra un Cono o Lóbulo de Deslizamiento Rotacional (Ddrt), encontrada hacia la parte septentrional de la plancha, al norte del casco urbano del Municipio de Molagavita, Departamento de Santander. Imágenes Landsat y CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 62

Figura 14. Sombreado en color marrón, se muestra un Escarpe de Erosión Mayor (Deem) encontrado hacia el noreste de la Plancha 136-Málaga. Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 63
Figura 15. Esquema representativo de un escarpe de erosión menor (Deeme). Tomado y adaptado de De Almeida *et al*., 1995. 64
Figura 16. Vista NE. Loma denudada, las pendientes son muy suaves y forma ondulada; se encuentra asociada a zonas de ganadería y coberturas del tipo pasto con presencia de algunas áreas con reptación debido a la humedad. Concepción, Santander. La línea blanca representa la delimitación de la geoforma. 64
Figura 17. En color amarillo se muestran Lomeríos Disectados (Dldi) encontrados en cercanías de los sectores Pitiguao y El Roble del Municipio de Mogotes (Departamento de Santander), hacia el oeste de la plancha. Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 65
Figura 18. Sombreada en color magenta se presenta una Ladera Erosiva (Dle) ubicada en cercanías del Municipio de Covarachía, hacia la parte sur de la zona de estudio. Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014..... 66
Figura 19. Montículos y Ondulaciones denudacionales (Dmo), en la Formación Río Negro. Se observan pendientes suaves y formas onduladas; la cobertura son pastos y el uso principal es la ganadería. Al fondo, ladera estructural y de contrapendiente de sierra sinclinal (Sssle y Ssslc, respectivamente). Municipio de Concepción (Santander). La línea naranja representa el contacto entre dos unidades geomorfológicas diferentes. 67
Figura 20. Sombreada en amarillo se muestra una Sierra Denudada (Dsd) en cercanías al Municipio de Mogotes (Departamento de Santander) al suroeste de la zona de estudio. Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 68
Figura 21. Sombreada en amarillo se presenta la unidad de Terrazas Sobreelevadas “Colgadas” (Dts), ubicada en cercanías al Municipio de Capitanejo (Santander). Imágenes Landsat y CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 69
Figura 22. Vista NNO. Abanico Fluviotorrencial, con pendiente entre 8° y 14°, compuesto por material detrítico, material tipo suelo de tonos amarillentos pálidos, con algunas gravas, sobre el que se localiza el Municipio de Capitanejo La línea blanca delimita diferentes unidades geomorfológicas. 70
Figura 23. Cauce aluvial (Fca) del río Chicamocha. Entrada a Capitanejo. 71
Figura 24. Sombreada en celeste se presenta una Planicie Aluvial Confinada (Fpac). Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 72
Figura 25. Vista NO. Terraza de acumulación (Fta); resaltan sus bajas pendientes acompañadas de una forma de ladera llana o rectilínea, con presencia de algunas ondulaciones; (Municipio Mogotes, Santander). La línea blanca delimita la unidad geomorfológica. 73

Figura 26. Esquema en donde se ilustran las geoformas asociadas a un sistema fluvial, tales como los Conos de Deyección (Fcdy), Terraza de Acumulación Sub-reciente (Ftas), Terraza de Acumulación (Ftae), Plano o Llanura de Inundación (Fpi) y Cauce Activo (Fca). Tomado y modificado de Zinck, 2012..... 74
Figura 27. Sombreado en amarillo se presenta un ejemplo de la unidad Conos Glaciofluviales (Gcgf), cerca del Municipio de San Mateo (Boyacá). Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 75
Figura 28. Unidad Cono y lóbulo de gelifracción (Gclg), localizada en la vereda Bábega (localidad La Reserva), Municipio de Carcasí. Imagen tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 76
Figura 29. Unidad Geomorfológica Flancos de Valle Glaciar, en área rural del Municipio de Carcasí (Santander); las líneas blancas delimitan la geoforma. Imagen CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014..... 77
Figura 30. Imagen de Lagunas glaciares (Glg), localizadas en el extremo noreste de la plancha (Municipios de Concepción y Carcasí). Imagen CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 78
Figura 31. Se visualiza un plano y cono de sobrelavado glacial (Gpcs), delimitado con la línea roja, en cercanías del Municipio de Carcasí. Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 79
Figura 32. Vista NE. Plano Glaciolacustrino, presenta pendientes suaves con formas onduladas, con presencia de bloques errantes de tamaños inferiores a 1 m. Además presenta un valle en U, asociado a movimientos glaciares. Concepción, Santander..... 80
Figura 33. Se visualizan las unidades geomorfológicas Ladera Estructural de Sierra Anticlinal Glaciada (Gsale) y Sierra Anticlinal Glaciada (Gsag), ubicada hacia la salida del Municipio de Concepción (Departamento de Santander), al este de la plancha. 81
Figura 34. Sierra Homoclinal Glaciada (Gshg), sombreada en azul; localizada hacia el extremo noreste de la zona de estudio. Imágenes Landsat y CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 82
Figura 35. Esquema ilustrativo en donde se representa la unidad geomorfológica Cerro estructural (Sce). Tomado y adaptado de De Almeida *et al*., 1995. 83
Figura 36. Diagrama Ilustrativo que representa las unidades geomorfológicas Ladera Estructural de Cuesta (Scle) y Ladera de Contrapendiente de cuesta (Sclc). Tomado y Modificado de De Almeida *et al*., 1995..... 84
Figura 37. Sombreado en amarillo se muestra la unidad Cuesta (Sc) y en magenta Cornisa Estructural (Scor). Sobre esta última unidad se asientan los municipios de Málaga y San José de Miranda (Departamento de Santander). Imágenes Landsat y CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014..... 85

Figura 38. Diagrama Ilustrativo que representa las unidades geomorfológicas Espolón Faceteado (Sefc) y Faceta Triangular (Sft). Modificado de De Almeida *et al*., 1995. 86
Figura 39. Sombreado se muestra la unidad Espolón faceteado moderado de longitud larga (Sefcml), localizado al nororiente del Municipio San Joaquín (Santander) Imágenes Landsat y CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014..... 87
Figura 40. Delineada por la línea celeste se muestra la unidad Espolón Festoneado (Sefes) como se ve en el Mapa de Unidades Geomorfológicas sobrepuesto al mapa de pendientes. Al lado derecho se muestra un corte realizado en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica de la unidad geomorfológica. La línea negra sobre la unidad representa la línea de corte. 88
Figura 41. La línea celeste delimita la unidad Espolón (Ses) y se muestra un corte realizado en ArcMap (de ESRI) con la expresión topográfica de la unidad geomorfológica. La línea negra sobre la unidad representa la línea de corte.. 89
Figura 42. Delineada por la línea celeste se muestra la unidad Espolón Moderado de Longitud Media (Sesmm). Se muestran los cortes A-A' y B-B' realizados en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica de la unidad geomorfológica. Modificado del Mapa de Unidades Geomorfológicas sobrepuesto al mapa de pendientes. 90
Figura 43. Faceta triangular (Sft), localizada en el Municipio de Covarachía, Departamento de Boyacá; imágenes Digital Globe, CNES/Astrium y U.S Geological Survey (1/10/2014). Tomado y adaptado de Google Earth, 2014. .. 91
Figura 44. Delineada por la línea celeste se muestra la unidad Gancho de Flexión (Sgf) como se ve en el Mapa de Unidades Geomorfológicas sobrepuesto al mapa de pendientes. Al lado izquierdo está el corte A-B, realizado en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica de la unidad geomorfológica. 92
Figura 45. Vista SO. Ladera estructural escalonada, donde se observan intercalaciones de rocas duras y blandas de origen sedimentario, acompañada de pequeñas zonas de canales o valles asociados a escorrentía. La cobertura principal es de tipo matorrales. Concepción, Santander. 93
Figura 46. Se muestra la unidad Lomo de Falla (Slf), sobrepuesto al mapa de pendientes. Al lado izquierdo se muestra el corte A-B, realizado en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica de la unidad geomorfológica..... 94
Figura 47. Esquema representativo de la unidad geomorfológica Escarpe de línea de falla (Slfe), tomado de De Almeida *et al*., 1995. 94
Figura 48. Trazada por la línea celeste se muestra la unidad geomorfológica Lomo de Obturación (Slo) sobrepuesto al mapa de pendientes. A la izquierda está el corte A-B, realizado en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica. 95

Figura 49. Esquema representativo de geoforma Escarpe de Meseta (Sme). Tomado y adaptado de De Almeida *et al*., 1995. 96
Figura 50. Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc), visto en la vereda Buraga, en zona rural del Municipio de Macaravita (Santander). Imágenes Digital Globe y CNES/Astrium (04/04/2013). Tomado y modificado de Google Earth, 2014. 97
Figura 51. Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale), encontrada hacia los límites del Municipio de San Mateo, Departamento de Boyacá; imágenes Digital Globe y CNES/Astrium (01/10/2014). Tomado y modificado de Google Earth 2014. 97
Figura 52. Unidad geomorfológica Sierra Anticlinal (Ssan) encontrada en cercanía de los municipios de Málaga, San José de Miranda y Molagavita (Departamento de Santander). Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 98
Figura 53. Sombreada en gris se muestra la unidad geomorfológica Sierra Homoclinal (Ssh), encontrada en cercanías al Municipio de Molagavita (Departamento de Santander). Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014. 99
Figura 54. Unidades Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc) y Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle), localizadas en área del Corregimiento El Tobal, Municipio de Carcasí (Santander); imágenes Landsat (04/09/2013). Modificado de Google Earth, 2014..... 101
Figura 55. La línea celeste delimita la unidad Sierras y Lomos de Presión (Sslp), sobrepuesto al mapa de pendientes. A la derecha está el corte realizado en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica de la unidad geomorfológica..... 101
Figura 56. Sombreado en color rojizo de la unidad Sierra sinclinal (Sss), al oriente del Municipio de Concepción (Santander); imagen Landsat (2013). Tomado y adaptado de Google Earth, 2014. 102
Figura 57. Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc) y ladera Estructural de Sierra Sinclinal (Sssle) encontradas en las veredas Tenerife (Municipio de Concepción) y Santa Helena (Municipio de San Miguel); imágenes Landsat, Digital Globe, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO y CNES/Astrium (02/06/2013). Tomado y adaptado de Google Earth, 2014. 104
Figura 58. Bloque diagrama realizado para la Plancha 136-Málaga en su parte norte, en donde se observan las principales geoformas que componen y dan forma al relieve, así como su relación con la geología y principales estructuras de la zona. 108

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Rangos de intervalos de altura o relieve relativo (SGC 2012) 24
Tabla 2. Rangos de inclinación de la ladera (SGC 2012) 24
Tabla 3. Rango de longitud de la ladera (SGC 2012) 25
Tabla 4. Rangos de forma de ladera (SGC 2012) 25
Tabla 5. Forma de crestas y valles (SGC 2012) 26
Tabla 6. Ambientes y unidades geomorfológicas de la Plancha 136-Málaga, con su área y porcentaje. 56

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cartera de Campo

RESUMEN

En esta memoria técnica explicativa del mapa de unidades geomorfológicas de la Plancha 136-Málaga a escala 1:100.000, se describen las características de las diversas unidades que integran el paisaje, presentes en los municipios de Málaga, San Andrés, Molagavita, Concepción, Capitanejo, San José de Miranda, Macaravita, San Miguel, Cepitá, Aratoca, Curití, Mogotes, Onzaga, San Joaquín, Tipacoque, Carcasí y Enciso, pertenecientes al Departamento de Santander, así como en los municipios de San Mateo, Covarachía y Boavita pertenecientes al Departamento de Boyacá. Para esto, se adoptó la "*Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*" (SGC, 2012) que tiene en cuenta los atributos de morfometría, morfogénesis y morfodinámica.

En el área de estudio, se identificaron cuatro ambientes morfogenéticos responsables del modelado de las geoformas presentes: el ambiente morfoestructural donde las características morfológicas del terreno se deben principalmente a los procesos asociados a la dinámica interna de la Tierra, el ambiente denudacional donde predominan los efectos de los procesos de meteorización y erosión, un ambiente fluvial - lagunar asociado a la dinámica de los ríos y sus procesos de erosión y depositación, y un ambiente glacial en donde las geoformas son originadas principalmente por procesos de erosión y depositación en relación a masas de hielo glaciar. En total se identificaron 57 unidades geomorfológicas asociadas a los ambientes mencionados.

Asociadas al ambiente morfoestructural se identificaron 27 unidades geomorfológicas que cubren el 56,39% del área, éstas unidades se encuentran ampliamente distribuidas en la zona, localizándose principalmente en la parte Oriental de la plancha, en la región estructural denominada Páramo de Montebello-Vertiente Occidental de la Cordillera Oriental, sin embargo también se pueden encontrar en las otras dos regiones que configuran la zona, el Macizo de Floresta al Occidente y el Macizo de Santander hacia la parte central. Están asociadas principalmente a las formaciones sedimentarias del Cretácico, Paleógeno y parte del Neógeno, las cuales se encuentran plegadas y falladas, así como a unidades de basamento que igualmente han sido afectadas por procesos de fallamiento. En el ambiente denudacional, el cual abarca 36,38% de la superficie de la zona de estudio, fueron identificadas 13 unidades, las cuales

se localizan preferentemente en la región Macizo de Floresta (aunque igualmente se presentan ampliamente distribuidas en las dos regiones restantes anteriormente mencionadas); su 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 preexistentes; se presentan en rocas que componen la secuencia cretácica así como en rocas más antiguas como la Formación Floresta del devónico y otras, que conforman el basamento cristalino. Al ambiente Fluvial - Lagunar se asocian 8 unidades, que representan 3,77% del área, estas unidades son el resultado de la dinámica del principal drenaje de la zona, el río Chicamocha y de algunos de sus tributarios como el río Servitá. Finalmente, se encuentra el ambiente Glaciar y Periglaciar, el cual comprende el 3,47% restante del área, con un total de nueve unidades geomorfológicas. En este ambiente agrupan aquellas geoformas cuyo origen está vinculado a los procesos erosivos o de deposición asociados a una masa glaciar; este ambiente se encuentra en la parte Nororiental de la zona de estudio.

La expresión geomorfológica actual es el resultado acumulado de una serie de eventos naturales que han modificado el relieve; las estructuras sinclinales y anticlinales formados durante el evento tectónico compresivo del Paleoceno-Mioceno, fueron exhumados dando lugar a sierras sinclinales y anticlinales que posteriormente fueron afectadas por la intensa erosión, definiendo un ambiente denudativo que se caracteriza por dar forma a un relieve relativo muy bajo, en donde la expresión geomorfológica de los pliegues y cabalgamientos se va suavizando hasta desaparecer a causa de los procesos erosivos. De igual forma, los procesos tectónicos que han dado lugar a importantes fallas, permitieron la formación geoformas como lomos, espolones, sierras, entre otras, las cuales se presentan predominantemente sobre rocas de la Vertiente Occidental de la Cordillera Oriental. Además, con el levantamiento orogénico se originó una red de drenaje que alimenta al principal cauce de la zona, el río Chicamocha. Como resultado de la dinámica hídrica se ha originado un ambiente fluvial en el que las principales geoformas corresponden al cauce del río mencionado, terrazas aluviales y llanuras de inundación formadas por eventos de inundación, erosión, profundización y migración de los ríos.

La geomorfología aplicada es una herramienta estratégica para la evaluación y proyección del comportamiento del terreno ya que está enfocada hacia la clasificación del relieve para lograr la agrupación de los materiales naturales (rocas y suelos) en unidades con características similares y un origen común, siendo las geoformas la respuesta del terreno al actuar de los agentes erosivos, es por ello que el mapa geomorfológico resultante constituye el insumo básico en la zonificación de amenaza relativa por movimientos en masa.

ABSTRACT

This technical explanatory report of the geomorphological units map of the topographic sheet 136-Málaga, scale 1:100,000, describes the characteristics of various units that make up the landscape, and are present in the municipality of Málaga, San Andrés, Molagavita, Concepción, Capitanejo, San José de Miranda, Macaravita, San Miguel, Cepitá, Aratoca, Curití, Mogotes, Onzaga, San Joaquín, Tipacoque, Carcasí and Enciso belonging to Santander, as well as in the municipalities of San Mateo, Covarachía and Boavita belonging to Boyacá. To do this, the "*Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*" (SGC, 2012) was adopted and takes into account the attributes of morphometry, morphogenesis and morphodynamic.

In the study area, four morphogenetic environments responsible for the modeling of the present landforms were identified: The morpho-structural environment where the morphologic characteristics are due to the internal dynamics of the Earth, the denudational environment where the effects of the processes of weathering and erosion prevail, the fluvial-lagoon environment associated with the dynamics of the rivers and their processes of erosion and deposition, and the glacial-periglacial environment where the landforms are originated by the erosion and deposition related to glacier ice mass. In total, 57 geomorphological units associated with the above identified environments.

Related to the morpho-structural environment 27 geomorphological units were identified, that cover the 56.39% of the area. These units can be found widely distributed in the area, located mostly in the eastern part of the map, in the structural called Páramo de Montebello-Vertiente Occidental de la Cordillera Oriental, although they can be found also in the other two provinces that make up the area, the Floresta Massif at west and the Santander Massif in the central part. They are mainly associated with sedimentary formations of Cretaceous, Paleogene and Neogene, which are folded and faulted, as well as basement units, which have also been affected by faulting processes. In the denudacional environment, which covers 36.38% of the area of the study area were identified 13 units, which are preferentially located in the province Floresta Massif (though equally present widely distributed in the two aforementioned remaining provinces);their morphological expression is defined by the combined action of moderate to intense weathering processes, erosion and transport of gravitational

and rainwater origin who have remodeled and left remnants of pre-existing landforms; occur in rocks that make up the Cretaceous sequence and in older rocks such as devonic Floresta Formation and others that make up the crystalline basement. There are eight geomorphological units related to the fluvial-lagoon environment, representing 3.77% of the total area. They are the result of the dynamics of the main drainage of the area, the Chicamocha River and some of its main tributaries such as the Servitá River. Finally, there are the glacier and periglacier environment comprising the remaining 3.47% of the area, with a total of nine geomorphological units. The origin of these units are linked to erosion or deposition associated to a glacier mass; the landforms belonging to this environment are located in the northeastern part of the study area.

The current geomorphological expression is the cumulative result of a set of natural events that have modified the topography; the synclinal and anticlinal folds formed during the compressive tectonic event in the Paleocene-Miocene were exhumed leading to synclinal an anticlinal ranges that were lately affected by intense erosion, defining a denudational environment characterized by a very low topography, where the folds are no longer a clear geomorphological expression. Besides, the tectonic processes that have led to major faults, allowed the formation of landforms such as loins, rams, saws, among others, which occur predominantly on rocks of the Vertiente Occidental de la Cordillera Oriental. Furthermore, with the orogenic uplift a drainage network that feeds into the mainstream of the area, the Chicamocha was originated. As a result, the water dynamics has led to a fluvial environment in which the major landforms correspond to the riverbed of the Chicamocha River, alluvial terraces and flood plains formed by flood, erosion, deepening and migration events of rivers.

The applied geomorphology is a strategic tool for the assessment and projection of the behavior of the land because it is focused on the classification of the relief in order to achieve the grouping of natural materials (rocks and soil) into units with similar characteristics and a common origin, being the landforms the ground response to the act of the erosive agents. That is why the resulting geomorphological map constitutes the basic input in the zoning of mass movements' relative threat.

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo geológico, el relieve terrestre ha ido cambiando y evolucionando, en función de los factores que lo afectan, y en épocas más recientes, uno de los que más han contribuido con dichos cambios es la intervención del hombre.

Factores naturales tales como la lluvia, la influencia de fallas geológicas, la erosión, entre otros, sumados a factores antropogénicos que incluyen la deforestación, la explotación irresponsable de recursos minerales, el sobrepastoreo y otros usos inadecuados del suelo, han contribuido a modificar el paisaje del territorio colombiano, lo que conlleva al desarrollo de zonas de inestabilidad, que dan paso a los movimientos en masa, en diferentes formas y magnitudes; consideradas como amenazas, ya que han producido (y producen) perdidas económicas y de vidas humanas en gran magnitud.

Por esta razón, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), en convenio con la Universidad Industrial de Santander (UIS) por medio del Convenio Especial de Cooperación número 009 de 2013) emprendieron la labor de realizar la Zonificación de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000, para el bloque 5, que comprende las planchas 109-Rionegro, 110-Pamplona, 111-Toledo, 119-Barrancabermeja, 121-Cerrito, 133-Puerto Berrio 134-Puerto Parra, 136-Málaga, 137-El Cocuy y 153-Chita; lo que en un futuro ayudará a la toma de decisiones en cuestiones de ordenamiento territorial, con la subsecuente priorización de recursos para la mitigación de los daños a causa de este tipo de fenómenos en dichas zonas.

Como base fundamental para la realización de este tipo de cartografía por amenaza relativa, se genera el mapa geomorfológico de la zona, siguiendo la *Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000* (SGC 2012); en donde se incluyen los parámetros de morfometría, morfodinámica y morfogénesis que permiten la valoración y calificación de las unidades geomorfológicas identificadas, y que a su vez sintetizan las situaciones de inestabilidad (generadoras de susceptibilidad) y las situaciones eventuales que actúan como detonante en el desencadenamiento de la amenaza.

A continuación se presenta la *Memoria Técnica Explicativa del Mapa Geomorfológico Aplicado a la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:100.000. Plancha 136-Málaga, Departamento de Santander y Boyacá*.

OBJETIVO GENERAL

- Generar el mapa de unidades geomorfológicas a escala 1:100.000 y su respectiva memoria explicativa con base en la Propuesta Metodológica Sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza propuesta por el SGC, que servirá como base fundamental en la elaboración del mapa de susceptibilidad y la zonificación de la amenaza relativa por movimientos en masa

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaboración del mapa de unidades Morfogenéticas a partir del análisis e interpretación de sensores remotos (mapas de sombras, pendientes e imágenes satelitales).
- Refinar y ajustar las unidades Morfogenéticas interpretadas con base en datos de campo.
- Elaborar la memoria explicativa de los ambientes y unidades Morfogenéticas cartografiadas para la Plancha 136-Málaga.
- Realizar la interpretación de la evolución Geomorfológica del área de estudio como parte de la memoria explicativa y generar un Bloque-diagrama que ilustre las geoformas presentes en la zona.

LOCALIZACIÓN

El área de estudio corresponde a la Plancha 136-Málaga de acuerdo con la nomenclatura del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2006), y se localiza al sureste del Departamento de Santander y al noreste del Departamento de Boyacá, e incluye los municipios de Málaga, San Andrés, Molagavita, Concepción, Capitanejo, San Mateo (Boyacá), San José de Miranda, Macaravita, Covarachía (Boyacá), San Miguel, Cepitá, Aratoca, Curití, Mogotes, Onzaga, San Joaquín, Boavita (Boyacá), Tipacoque, Carcasí y Enciso (Figura 1). El área total de la cobertura de la plancha es de 1.800 km^2.

La población actual de los municipios principales como Málaga, Capitanejo y Mogotes es de aproximadamente 48.700 habitantes, complementando los municipios de menores extensiones y con menores habitantes con una densidad de población aproximada de 26.000 habitantes; esto dando una densidad total de la población aproximada de 74.700 habitantes dentro del área de la plancha.

La red vial principal permite la comunicación desde la ciudad de Bucaramanga con los Municipios de San Andrés, Molagavita y Málaga; la Transversal Curos – Málaga, permite la integración del territorio de la subregión con la troncal central o del Norte y la troncal Oriental que atraviesa la Provincia de García Rovira en el sentido Sur-Norte hacia la Cuenca del Lago de Maracaibo en la Región Zuliana de la frontera Colombo-Venezolana. Red Vial Secundaria: está conformada por las vías departamentales que unen a la jurisdicción municipal con el resto del territorio de la subregión (Fuente: páginas web de las alcaldías de Cepitá, Cerrito, Concepción, Málaga, Mogotes, San Andrés).

Los municipios se encuentran comunicados por medio de una red de vías terrestres en regular estado, en su mayoría pavimentadas. El Municipio de Cepitá solo se une por vía terrestre con la ruta 45 A que conduce a Bucaramanga - Tunja.

La plancha se encuentra referenciada según Datum Magna Sirgas con origen Bogotá dentro de las siguientes coordenadas planas (IGAC, 2006):

NW: X: 1.120.000 – Y: 1.240.000 NE: X: 1.165.000 – Y: 1.240.000
SW: X: 1.120.000 – Y: 1.200.000 SE: X: 1.165.000 – Y: 1.200.000

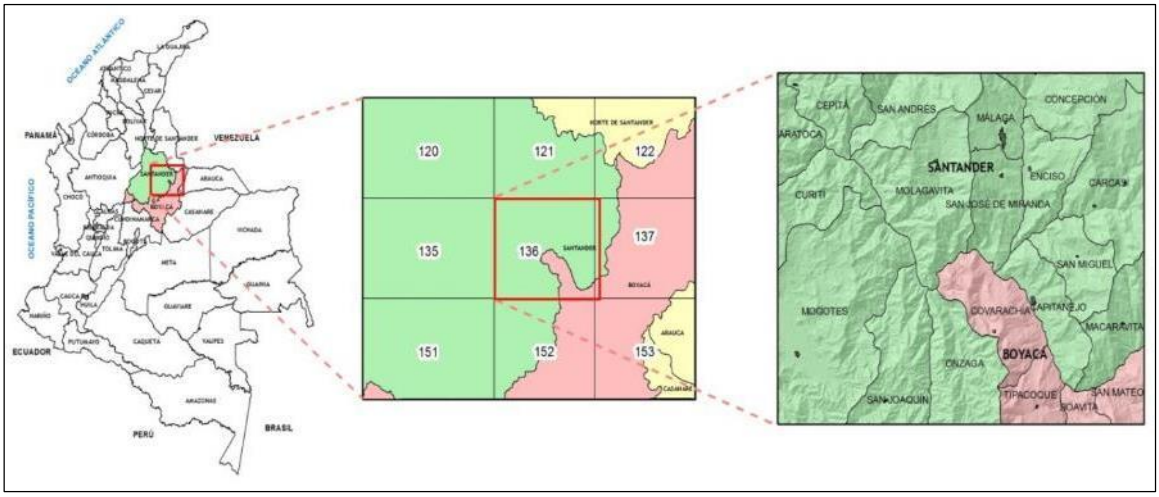


Figura 1. Localización de la Plancha 136-Málaga.

METODOLOGÍA

Para la realización del mapa geomorfológico correspondiente a la Plancha 136-Málaga, a escala 1:100.000 se siguió la metodología descrita a continuación, la cual toma como referencia la *Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000* (SGC, 2012).

A. Jerarquización geomorfológica

Esta metodología emplea la jerarquización del International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (I.T.C, por sus siglas en inglés), encontrada en su documento El sistema I.T.C para levantamientos geomorfológicos, elaborada por Verstappen y Van Zuidam en 1992 *y* adoptada por Carvajal (2004-2008). Esto relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, en donde el nivel más regional busca representar el origen de las geoformas y los ambientes morfogenéticos asociados, mientras que el nivel más detallado muestra las expresiones morfológicas, los procesos morfodinámicos y la influencia de la litología además de los ambientes morfogenéticos (Figura 2).

La jerarquía de las unidades geomorfológicas, con base al documento de SGC, 2012 se definen así:

- Geomorfoestructuras (escala <1:2.500.000 a >1:1.000.000)

Se refieren a grandes espacios -sean continentales o intercontinentales- que se caracterizan por estructuras regionales, que incluyen cratones, escudos, plataformas, grandes cuencas, cinturones orogénicos y valles en rift.

- Provincia Geomorfológica (escala 1:1.000.000 a 1:500.000)

Regiones que presentan geoformas parecidas, definidas a nivel regional. Localmente abarcan las regiones naturales y terrenos geológicos de Colombia, los cuales están delimitados por fallas de importancia regional -definidas o inferidas-. Incluyen los cinturones montañosos, llanuras, peneplanicies, cordilleras y serranías.

- Región Geomorfológica (Escala 1:250.000 A 1:500.000)

Involucra a las geoformas relacionadas a la génesis de los paisajes, y definidas por un marco de ambiente morfogenético definido y afectados por procesos dinámicos parecidos. Aquí se pueden agrupar áreas equivalentes a vertientes que estén contenidas dentro de una provincia geomorfológica y que representen un ambiente morfogenético particular con condiciones climáticas homogéneas.

- Unidades geomorfológicas (Escala 1:50.000 a 1:100.000)

Definidas como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico construccional o destruccional de un ambiente geomorfológico particular. Corresponde a los elementos básicos que componen un paisaje o modelo geomorfológico, los cuales están definidos con criterios genéticos, morfológicos y geométricos en función de la escala el proceso natural que lo conformó.

- Subunidad geomorfológica (escala 1:10.000 a 1:25000)

Definida por contrastes morfométricos y morfológicos que relacionan el tipo de material y la disposición estructural de los mismos. Se encuentran asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos.

- Componente o elemento geomorfológico (escala 1:2.000 a 1:10.000)

Representa el máximo nivel detalle. Abarca los rasgos del relieve (escarpes naturales o antropogénicos, relieves internos de laderas o flancos crestas, formas de valle, etc.) que se definen en sitios puntuales, determinados por la morfometría detallada del terreno en una subunidad geomorfológica; también puede estar definida por micro-relieves asociados a una característica litológica.

Teniendo en cuenta la jerarquización y considerando que la escala del presente trabajo es 1:100.000 se tomó como elemento fundamental la *Unidad Geomorfológica*, especificada y clasificada desde un punto de vista morfogenético, por medio de las cuales se pueden separar cada uno de los ambientes geomorfológicos particulares. Esta unidad básica se utilizó para la generación del mapa geomorfológico que es un insumo de la zonificación de la amenaza por movimientos en masa a escala 1:100.000 (Figura 2).

La cartografía o análisis geomorfológico en base a *Unidades Geomorfológicas* tiene como alcance la reconstrucción de la historia antigua, presente y futura (Génesis, procesos y edad) del relieve de una región en particular (Carvajal, 2011). A su vez es aplicable a la evaluación ambiental y planes de ordenamiento territorial y particularmente al manejo de tierras, zonificaciones geotécnicas y sísmicas de ciudades, planificación del desarrollo de recursos, planificación en el uso de tierras, planificación de proyectos y a la política de riesgos naturales (Slaymaker, 2001, citado por Carvajal, 2011). Dentro de las limitantes esta que la identificación de las formas del relieve se ha basado normalmente en su génesis de formación y la morfología, por lo tanto, los mecanismos de generación, difícilmente se pueden separar (SGC, 2012). Además, debido a la escala de trabajo parte de la información morfológica del terreno que no alcanza las dimensiones necesarias para ser cartografiada, puede llegar a ser desaprovechada.

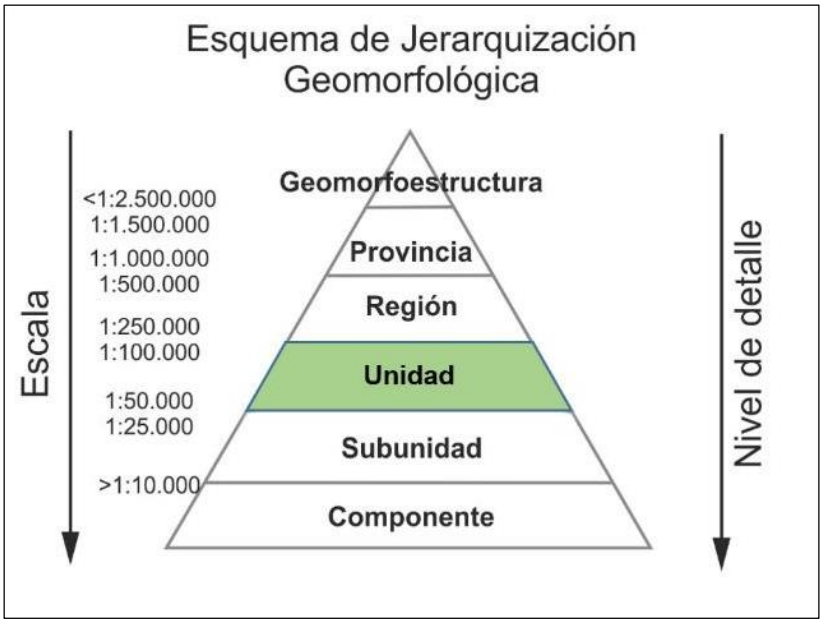


Figura 2. Esquema de jerarquización geomorfológica (Modificado de SGC 2012).

B. Ambientes morfogenéticos

Para describir correctamente las unidades geomorfológicas que conforman a su vez el mapa geomorfológico a escala 1:100.000, es necesario definir que es un ambiente morfogenético y cuáles son los que se pueden encontrar en una zona determinada.

Una geoforma es una superficie terrestre con características morfológicas distintivas, definidas en su desarrollo por un proceso en particular, que deja reflejada una configuración típica de cada ambiente (M.O.P.T, 1990, citado por SGC, 2012); mientras que un ambiente morfogenéticos agrupa las condiciones físicas, químicas, climáticas y bióticas bajo las cuales se originaron las geoformas (SGC, 2012). Con esto en cuenta, se definen los siguientes ambientes morfogenéticos:

- Ambiente morfoestructural: Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra (procesos endógenos), especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos. Incluye el ambiente neotectónico que son geoformas originadas por la actividad tectónica activa y que se ha prolongado durante el Cuaternario, (SGC, 2012). El color utilizado en la cartografía para los paisajes de este ambiente es púrpura.
- Ambiente volcánico: asociado en las regiones donde predominan los procesos que generan geoformas volcánicas por la extrusión de materiales fundidos procedentes del interior de la tierra. Color

recomendado el rojo de acuerdo con Verstappen y Van Zuidam (1992) citado en SGC, 2012.

- Ambiente marino profundo y costero: determinado por las geoformas construidas por la actividad de las corrientes marinas y el oleaje costero del mar. El color propuesto para este tipo de región es el verde.
- Ambiente eólico: geoformas formadas por la acción del viento, como agente modelador del paisaje en zonas desérticas principalmente. Las geoformas de este ambiente se identificaron con color amarillo de acuerdo al sugerido por Verstapen y Van Zuidam (1992) citado en SGC, 2012.
- Ambiente kárstico: definido por las formas producto de la meteorización y dilución de rocas y materiales de fácil dilución en ambientes húmedos y cálidos, tales como las calizas y sal. Este tipo de geoformas se recomienda utilizar simbología en color naranja de acuerdo a la metodología ITC de Verstappen y Van Zuidam (1992) citado en SGC, 2012.
- Ambiente denudacional: Determinado por la actividad de procesos exógenos de meteorización, procesos erosivos hídricos y por fenómenos de transporte o de remoción en masa actuantes sobre geoformas pre-existentes, (SGC, 2012). Se identifica con color marrón en la cartografía.
- Ambiente fluvial: Corresponde a las geoformas generadas por los procesos relacionados con la actividad fluvial, (SGC, 2012). Se identifica con color azul en la cartografía.
- Ambiente glaciar y periglacial: Geoformas originadas por procesos de erosión y sedimentación producida en las partes altas de las cadenas montañosas o en zonas periglaciares, las cuales generaron grandes cantidades de sedimentos, que fueron acumuladas en las laderas adyacentes a estas geoformas, (SGC, 2012). Color de la simbología para la cartografía de este tipo de ambiente es el gris.
- Ambiente antropogénico y/o bilógico: morfologías formadas por la actividad del hombre que modifica la superficie del terreno. Geoformas cartografiadas en tramas de color negro.

C. Otros conceptos necesarios

A continuación se definen otros conceptos necesarios para la realización del mapa geomorfológico a escala 1:100.000 de la Plancha 136-Málaga, con base a la Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000 (SGC, 2012).

- Contraste de relieve o relieve relativo: Hace referencia a la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja de ésta, independiente de la altura absoluta o el nivel del mar. Es un atributo que

indica la energía potencial de un sistema de drenaje y los materiales constitutivos de la geoforma (Tabla 1).

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

Tabla 1. Rangos de intervalos de altura o relieve relativo (SGC 2012).

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

Tabla 2. Rangos de inclinación de la ladera (SGC 2012).

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

- Longitud de la ladera: Es un indicador de la homogeneidad del material constitutivo de las geoformas; puede determinar una mayor superficie para el desarrollo de los procesos morfodinámicos.

Tabla 3. Rango de longitud de la ladera (SGC 2012).

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

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

Tabla 4. Rangos de forma de ladera (SGC 2012).

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

- Patrón de drenaje: Es la distribución de todos los canales de drenajes superficiales en un área que esté ocupada o no por aguas permanentes. El patrón de drenaje está controlado por la inclinación del terreno, tipo y estructura geológica de la roca subyacente, densidad de vegetación y las condiciones climáticas (Figura 3)

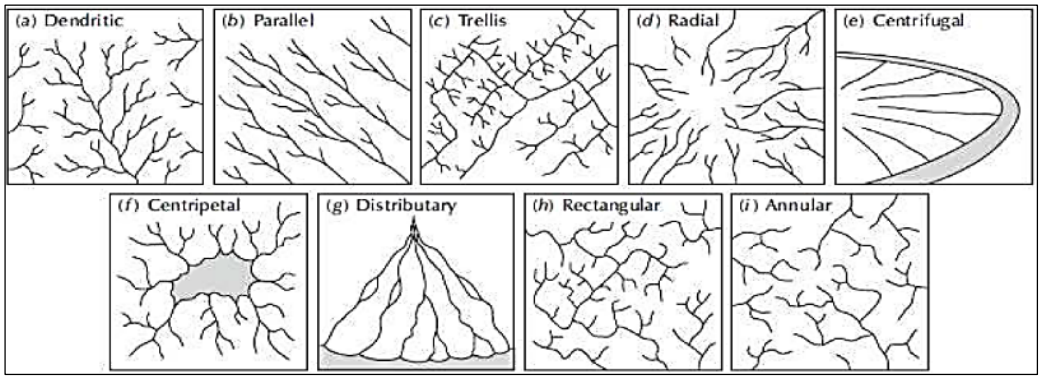


Figura 3. Patrones de drenaje (Huggett, 2007; en SGC 2012).

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

Tabla 5. Forma de crestas y valles (SGC 2012).

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

- Morfogénesis: Implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron lugar a la forma del paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos que lo crean 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.
- Morfoestructura y Litología: indica el modelado del relieve, según composición, disposición y dinámica interna de la tierra.
  La morfoestructura incide en el modelado del paisaje según: condición pasiva que tiene en cuenta las formas resultantes de los procesos o deformaciones tectónicas (activas o inactivas) expresadas en el relieve de la superficie terrestre, con dimensiones y configuraciones variables; y la condición activa que corresponde a los procesos morfogenéticos endógenos asociados tanto a la deformación como al fracturamiento tectónico.
- Morfodinámica: La morfodinámica es la parte de la geomorfología que trata de los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos), tanto antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas o unidades de terreno.

PROCESO METODOLÓGICO

Para la elaboración de la cartografía geomorfológica de la Plancha 136 Málaga, Departamento de Santander, se siguió el proceso metodológico planteado en la propuesta del Servicio Geológico Colombiano, que presenta calificaciones que permiten cuantificar la zonificación de cada unidad geomorfológica de terreno cartografiable a escala 1:100.000. El flujograma a continuación resume los pasos que se plantea seguir para la consecución de los objetivos (Figura 7).

A. Recolección de insumos básicos:

Como primer paso para la elaboración del mapa geomorfológico de la Plancha 136-Málaga a escala 1:100.000, se recolecta información denominada Insumos Necesarios, la cual comprende los Insumos Básicos Necesarios y los Insumos Temáticos Necesarios. Los Insumos básicos necesarios incluyen imágenes satelitales, modelos digitales de elevación del terreno, la cartografía base del IGAC (2006), a escala 1:100.000 y sensores remotos; mientras que los Insumos Temáticos Necesarios abarcan los mapas Geológicos, incluyendo los mapas de fallas, a escala 1:100.000

La información recolectada en este primer paso es de vital importancia, ya que permite realizar una aproximación inicial a la geomorfología del área, puesta que gracias a dicha información se pueden observar características físicas de la zona, lo que está estrechamente relacionado a los procesos genéticos de las geoformas encontradas.

B. Preparación y análisis de la información recolectada

Una vez reunida toda la información disponible y pertinente, se procede a integrarla en una base de datos, empleando el software ArcGIS de Esri, para así georeferenciarla en un mismo sistema de coordenadas (para el caso este sistema es el Magna Colombia Bogotá) y posteriormente procesarla en forma conjunta.

- Procesamiento de la Información

A partir del Modelo de elevación Digital, se pueden obtener otros insumos necesarios; los mapas de sombras y de pendientes, que son fundamentales al momento de realizar la interpretación del mapa geomorfológico.

C. Generación del mapa geomorfológico preliminar

Sobreponiendo diferentes capas de insumos (mapas de sombras y pendientes, imágenes satelitales, etc.) se puede visualizar de forma global las geoformas del terreno, lo que permite delimitar de manera preliminar las unidades geomorfológicas, teniendo en cuenta el ambiente al cual se encuentran asociadas las geoformas y las características comunes que presenten.

Al momento de trazar los polígonos que representan una unidad geomorfológica se debe tener muy presente el sistema de drenaje representado en la cartografía base del IGAC (2006) a escala 1:100.000, ya que los bordes de las cuencas hidrográficas marcan límites entre unidades geomorfológicas. Además de esto, es necesario considerar los cambios de pendiente del terreno, las características litológicas y la geología estructural (Fallas, pliegues y datos estructurales), ya que en conjunto, estos parámetros guardan una estrecha relación con la génesis de las geoformas lo que permite definir las unidades geomorfológicas a las que pertenecen.

Como resultado de la interpretación, una vez identificadas y demarcadas las unidades geomorfológicas, se obtiene el mapa geomorfológico preliminar del área de estudio, que a su vez será la base para el trabajo de campo.

D. Comprobación en campo del mapa geomorfológico preliminar

El trabajo de campo se realiza con el objeto de comprobar las unidades geomorfológicas que fueron identificadas durante la interpretación realizada en

oficina, así como para identificar geoformas que no se delimitaron durante dicha interpretación.

Una vez en el área de estudio, se procede a buscar altos topográficos desde los cuales se pueda obtener una vista general de la zona, para así poder corregir, identificar y afinar las unidades geomorfológicas. Esta comprobación en campo tiene la ventaja que permite integrar a la interpretación diferentes variables que afectan la forma del terreno, clima, geología morfodinámica en incluso la morfogénesis.

En campo también se registran los movimientos en masa activos que se encuentren en el área de estudio; como inventario si presentan un área mayor a 2.500 m^2, o como catálogo, si son menores a dicha área. En caso que se encuentren movimientos en masa mayores a 40.000 m^2, se trazan como unidades en el mapa geomorfológico.

Tanto la información geomorfológica, como la de movimientos en masa activos recolectada en campo se registra en formatos para tal fin (Figura 4, Figura 5, Figura 6).

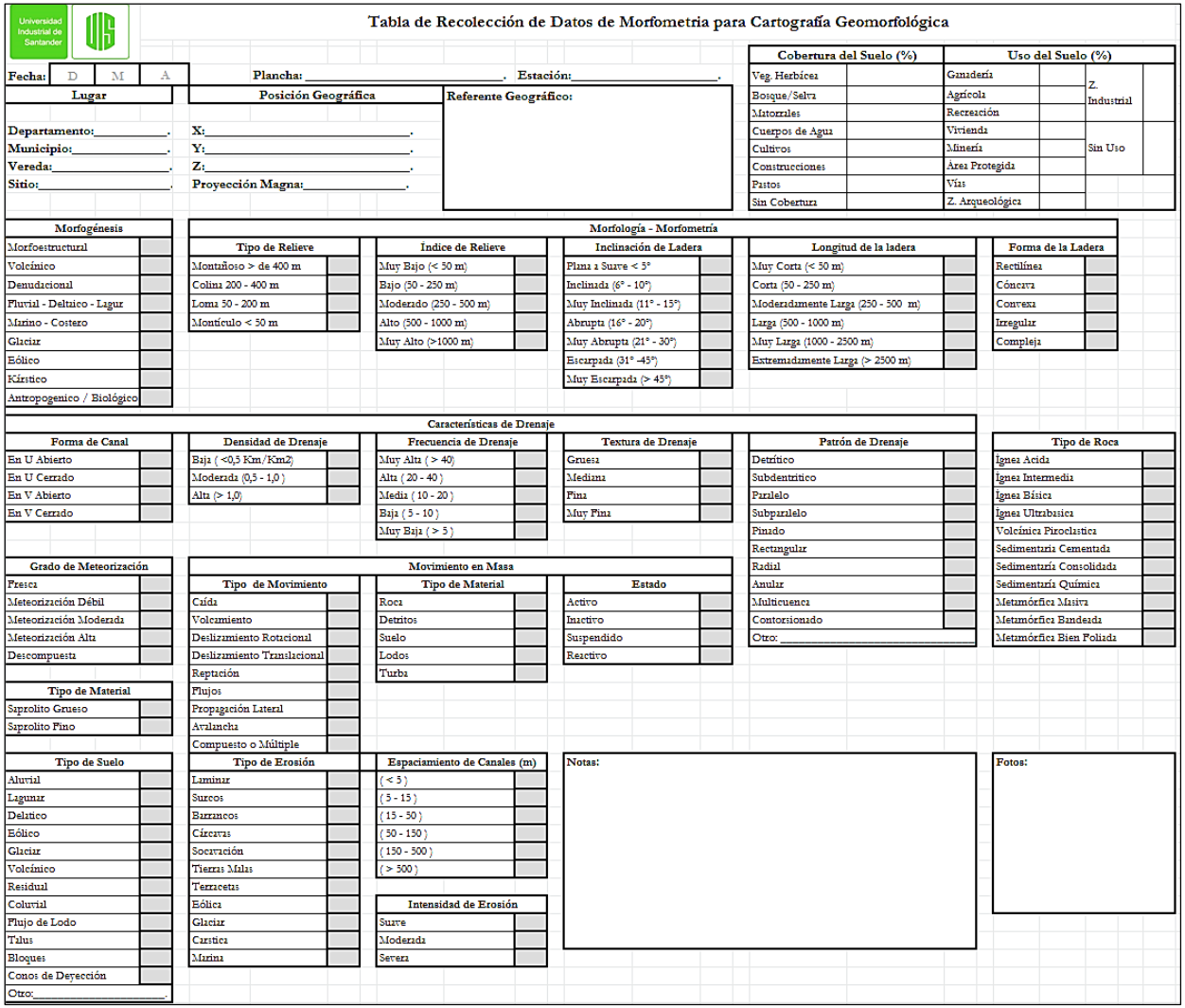


Tabla de Recolección de Datos de Morfometria para Cartografía Geomorfológica

Fecha: D M A Plancha: _____. Estación: _____.

Lugar	Posición Geográfica	Referente Geográfico:
Departamento: _____.	X: _____.	
Municipio: _____.	Y: _____.	
Vereda: _____.	Z: _____.	
Sitio: _____.	Proyección Magna: _____.	

Cobertura del Suelo (%)		Uso del Suelo (%)			
Veg. Herbácea		Ganadería		Z. Industrial	
Bosque/Selva		Agrícola			
Matorrales		Recreación			
Cuerpos de Agua		Vivienda		Sin Uso	
Cultivos		Minería			
Construcciones		Área Protegida			
Pastos		Vías			
Sin Cobertura		Z. Arqueológica			

Morfogénesis	
Morfoestructural	
Volcánico	
Denudacional	
Fluvial - Deltaico - Lagu	
Marino - Costero	
Glaciar	
Eólico	
Kárstico	
Antropogenico / Biológico	

Morfología - Morfometría

Tipo de Relieve		Indice de Relieve		Inclinación de Ladera		Longitud de la ladera		Forma de la Ladera	
Montañoso > de 400 m		Muy Bajo (< 50 m)		Plana a Suave < 5°		Muy Corta (< 50 m)		Rectilínea	
Colina 200 - 400 m		Bajo (50 - 250 m)		Inclinada (6° - 10°)		Corta (50 - 250 m)		Cóncava	
Loma 50 - 200 m		Moderado (250 - 500 m)		Muy Inclinada (11° - 15°)		Moderadamente Larga (250 - 500 m)		Convexa	
Montículo < 50 m		Alto (500 - 1000 m)		Abrupta (16° - 20°)		Larga (500 - 1000 m)		Irregular	
		Muy Alto (>1000 m)		Muy Abrupta (21° - 30°)		Muy Larga (1000 - 2500 m)		Compleja	
				Escarpada (31° -45°)		Extremadamente Larga (> 2500 m)			
				Muy Escarpada (> 45°)					

Características de Drenaje

Forma de Canal		Densidad de Drenaje		Frecuencia de Drenaje		Textura de Drenaje		Patrón de Drenaje		Tipo de Roca	
En U Abierto		Baja (<0,5 Km/Km2)		Muy Alta (> 40)		Gruesa		Detrítico		Ígnea Acida	
En U Cerrado		Moderada (0,5 - 1,0)		Alta (20 - 40)		Mediana		Subdentritico		Ígnea Intermedia	
En V Abierto		Alta (> 1,0)		Media (10 - 20)		Fina		Paralelo		Ígnea Básica	
En V Cerrado				Baja (5 - 10)		Muy Fina		Subparalelo		Ígnea Ultrabasica	
				Muy Baja (> 5)				Pinado		Volcánica Piroclastica	
								Rectangular		Sedimentaria Cementada	
								Radial		Sedimentaria Consolidada	
								Anular		Sedimentaria Química	
								Multicuenca		Metamórfica Masiva	
								Contorsionado		Metamórfica Bandeada	
								Otro: _____		Metamórfica Bien Foliada	

Grado de Meteorización	
Fresca	
Meteorización Débil	
Meteorización Moderada	
Meteorización Alta	
Descompuesta	

Tipo de Material	
Saprolito Grueso	
Saprolito Fino	

Movimiento en Masa

Tipo de Movimiento		Tipo de Material		Estado	
Caída		Roca		Activo	
Volcamiento		Detritos		Inactivo	
Deslizamiento Rotacional		Suelo		Suspendido	
Deslizamiento Translacional		Lodos		Reactivo	
Reptación		Turba			
Flujos					
Propagación Lateral					
Avalancha					
Compuesto o Múltiple					

Tipo de Suelo	
Aluvial	
Lagunar	
Deltaico	
Eólico	
Glaciar	
Volcánico	
Residual	
Coluvial	
Flujo de Lodo	
Talus	
Bloques	
Conos de Deyección	
Otro: _____	

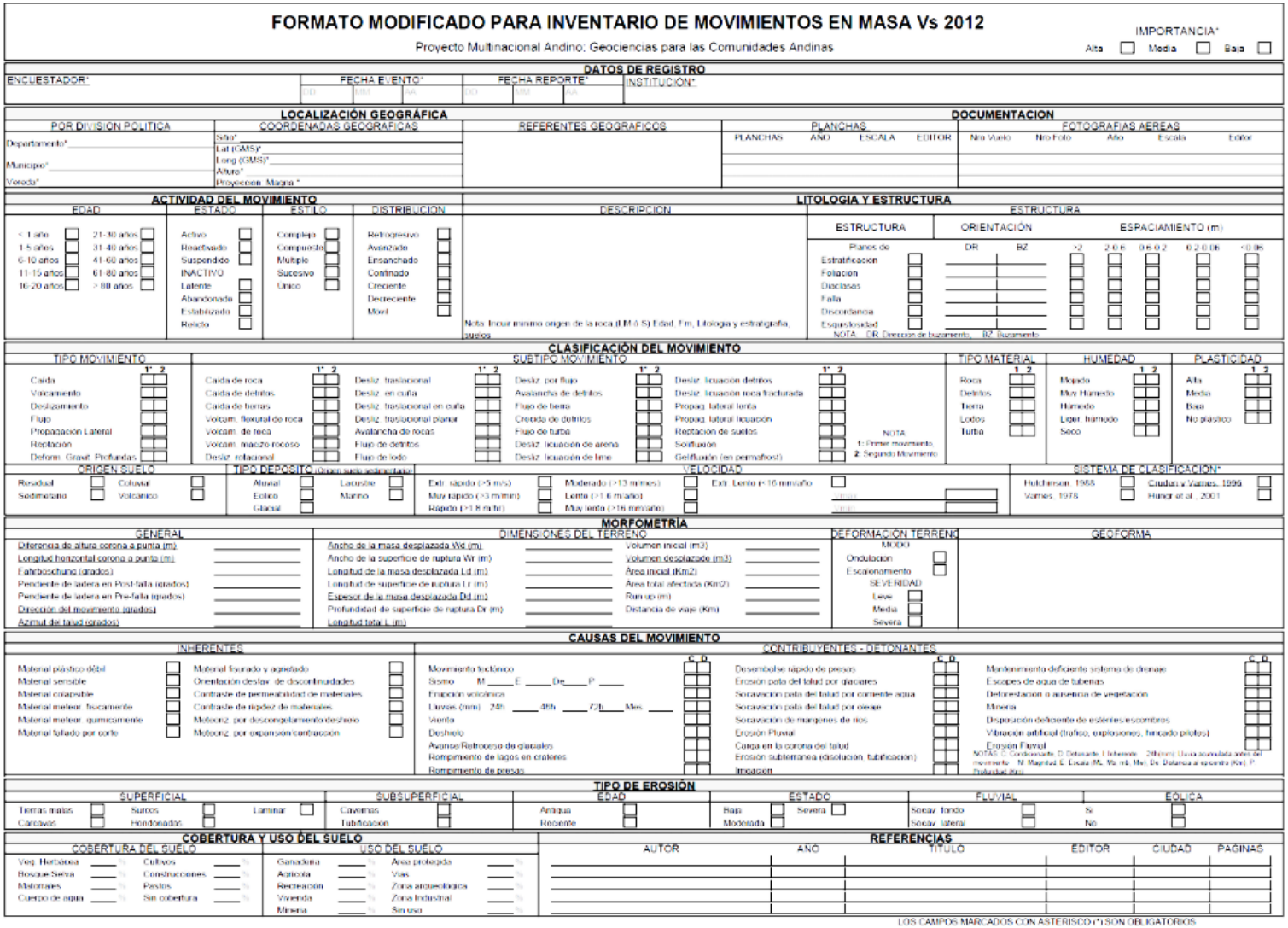
Tipo de Erosión		Espaciamiento de Canales (m)	
Laminar		(< 5)	
Surcos		(5 - 15)	
Barrancos		(15 - 50)	
Cárcavas		(50 - 150)	
Socavación		(150 - 500)	
Tierras Malas		(> 500)	
Terracetas			
Eólica			
Glaciar			
Carstica			
Marina			

Intensidad de Erosión	
Suave	
Moderada	
Severa	

Notas:

Fotos:

Figura 4. Formato para la recolección de datos geomorfológicos, UIS (2013).



FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas

IMPORTANCIA* Alta ☐ Media ☐ Baja ☐

DATOS DE REGISTRO

ENCUESTADOR* | FECHA EVENTO* DD MM AA | FECHA REPORTE* DD MM AA | INSTITUCION*

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

POR DIVISIÓN POLITICA: Departamento* / Municipio* / Vereda*

COORDENADAS GEOGRAFICAS: Sitio* / Lat (GMS)* / Long (GMS)* / Altura* / Proyección: Magna *

REFERENTES GEOGRAFICOS

DOCUMENTACION

PLANCHAS: PLANCHAS | AÑO | ESCALA | EDITOR

FOTOGRAFIAS AEREAS: No Vuelo | No Foto | Año | Escala | Editor

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO

EDAD: < 1 año ☐ | 1-5 años ☐ | 6-10 años ☐ | 11-15 años ☐ | 16-20 años ☐ | 21-30 años ☐ | 31-40 años ☐ | 41-60 años ☐ | 61-80 años ☐ | > 80 años ☐

ESTADO: Activo ☐ | Reactivado ☐ | Suspendido ☐ | INACTIVO | Latente ☐ | Abandonado ☐ | Estabilizado ☐ | Relicto ☐

ESTILO: Complejo ☐ | Compuesto ☐ | Multiple ☐ | Sucesivo ☐ | Unico ☐

DISTRIBUCION: Retrogresivo ☐ | Avanzado ☐ | Ensanchado ☐ | Confinado ☐ | Creciente ☐ | Decreciente ☐ | Movil ☐

LITOLOGIA Y ESTRUCTURA

DESCRIPCION

Nota: Incluir mínimo origen de la roca (I,M,O,S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos

ESTRUCTURA

ESTRUCTURA | ORIENTACIÓN (DR, BZ) | ESPACIAMIENTO (m): >2 | 2.0 a 0.6 | 0.6 a 0.2 | 0.2 a 0.06 | <0.06

Planos de: Estratificacion ☐ | Foliacion ☐ | Diaclasas ☐ | Falla ☐ | Discordancia ☐ | Esquistosidad ☐

NOTA: DR: Direccion de buzamiento; BZ: Buzamiento

CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO

TIPO MOVIMIENTO (1° 2°): Caída ☐☐ | Volcamiento ☐☐ | Deslizamiento ☐☐ | Flujo ☐☐ | Propagacion Lateral ☐☐ | Reptación ☐☐ | Deform. Gravit. Profundas ☐☐

SUBTIPO MOVIMIENTO (1° 2°): Caida de roca ☐☐ | Caida de detritos ☐☐ | Caida de bloques ☐☐ | Volcam. flexural de roca ☐☐ | Volcam. de roca ☐☐ | Volcam. mazizo rocoso ☐☐ | Desliz. rotacional ☐☐ | Desliz. traslacional ☐☐ | Desliz. en cuña ☐☐ | Desliz. traslacional en cuña ☐☐ | Desliz. traslacional plana ☐☐ | Avalancha de rocas ☐☐ | Flujo de detritos ☐☐ | Flujo de lodo ☐☐ | Desliz. por flujo ☐☐ | Avalancha de detritos ☐☐ | Flujo de bloques ☐☐ | Creeping de detritos ☐☐ | Flujo de turba ☐☐ | Desliz. licuacion de arena ☐☐ | Desliz. licuacion de limo ☐☐ | Desliz. licuacion detritos ☐☐ | Desliz. licuacion roca fracturada ☐☐ | Propag. lateral lenta ☐☐ | Propag. lateral licuacion ☐☐ | Reptacion de suelos ☐☐ | Soliflucion ☐☐ | Gelifluxión (en permafrost) ☐☐

NOTA: 1: Primer movimiento; 2: Segundo Movimiento

TIPO MATERIAL (1 2): Roca ☐☐ | Detritos ☐☐ | Tierra ☐☐ | Lodos ☐☐ | Turba ☐☐

HUMEDAD (1 2): Mojado ☐☐ | Muy Humedo ☐☐ | Humedo ☐☐ | Liger. humedo ☐☐ | Seco ☐☐

PLASTICIDAD (1 2): Alta ☐☐ | Media ☐☐ | Baja ☐☐ | No plastico ☐☐

ORIGEN SUELO: Residual ☐ | Coluvial ☐ | Sedimentario ☐ | Volcanico ☐

TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario): Aluvial ☐ | Lacustre ☐ | Eolico ☐ | Marino ☐ | Glacial ☐

VELOCIDAD: Extr. rápido (>5 m/s) ☐ | Muy rapido (>3 m/min) ☐ | Rápido (>1.8 m/hr) ☐ | Moderado (>13 m/mes) ☐ | Lento (>1.6 m/año) ☐ | Muy lento (>16 mm/año) ☐ | Extr. Lento (<16 mm/año) ☐

SISTEMA DE CLASIFICACION*: Hutchinson, 1968 ☐ | Varnes, 1978 ☐ | Cruden y Varnes, 1996 ☐ | Hungr et al., 2001 ☐

MORFOMETRÍA

GENERAL: Diferencia de altura corona a punta (m) | Longitud horizontal corona a punta (m) | Fahrboschung (grados) | Pendiente de ladera en Post-falla (grados) | Pendiente de ladera en Pre-falla (grados) | Dirección del movimiento (grados) | Azimut de talud (grados)

DIMENSIONES DEL TERRENO: Ancho de la masa desplazada Wd (m) | Ancho de la superficie de ruptura Wr (m) | Longitud de la masa desplazada Ld (m) | Longitud de superficie de ruptura Lr (m) | Espesor de la masa desplazada Dd (m) | Profundidad de superficie de ruptura Dr (m) | Longitud total L (m) | Volumen inicial (m3) | Volumen desplazado (m3) | Area inicial (Km2) | Area total afectada (Km2) | Run up (m) | Distancia de viaje (Km)

DEFORMACION TERRENO: MODO: Ondulacion ☐ | Escalonamiento ☐ — SEVERIDAD: Leve ☐ | Media ☐ | Severa ☐

GEOFORMA

CAUSAS DEL MOVIMIENTO

INHERENTES: Material plástico débil ☐ | Material sensible ☐ | Material colapsible ☐ | Material meteor. físicamente ☐ | Material meteor. químicamente ☐ | Material fallado por corte ☐ | Material fisurado y agrietado ☐ | Orientación desfav. de discontinuidades ☐ | Contraste de permeabilidad de materiales ☐ | Contraste de rigidez de materiales ☐ | Meteoriz. por descongelamiento-deshielo ☐ | Meteoriz. por expansion-contraccion ☐

CONTRIBUYENTES - DETONANTES (C D): Movimiento telúrico ☐☐ | Sismo M___ E___ De___ P___ ☐☐ | Erupción volcánica ☐☐ | Lluvias (mm): 24h ___ 48h ___ 72h ___ Mes ___ ☐☐ | Viento ☐☐ | Deshielo ☐☐ | Avance/Retroceso de glaciales ☐☐ | Rompimiento de lagos en cráteres ☐☐ | Rompimiento de presas ☐☐ | Desembalse rápido de presas ☐☐ | Erosión pata del talud por glaciares ☐☐ | Socavación pata del talud por corriente agua ☐☐ | Socavación pata del talud por oleaje ☐☐ | Socavación de margenes de ríos ☐☐ | Erosión Pluvial ☐☐ | Carga en la corona del talud ☐☐ | Erosión subterránea (disolución, tubificación) ☐☐ | Irrigación ☐☐ | Mantenimiento deficiente sistema de drenaje ☐☐ | Escapes de agua de tuberías ☐☐ | Deforestación o ausencia de vegetación ☐☐ | Minería ☐☐ | Disposición deficiente de estériles/escombros ☐☐ | Vibración artificial (tráfico, explosiones, hincado pilotes) ☐☐ | Erosion Fluvial ☐☐

NOTAS: C: Condicionante; D: Detonante; I: Inherente; 24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento; M: Magnitud; E: Escala (Ms, Mw, mL, Mw); De: Distancia al epicentro (Km); P: Profundidad (km)

TIPO DE EROSIÓN

SUPERFICIAL: Terrias malas ☐ | Carcavas ☐ | Surcos ☐ | Hondonadas ☐ | Laminar ☐

SUBSUPERFICIAL: Cavernas ☐ | Tubificación ☐

EDAD: Antigua ☐ | Reciente ☐

ESTADO: Baja ☐ | Moderada ☐ | Severa ☐

FLUVIAL: Socav. fondo ☐ | Socav. lateral ☐

EÓLICA: Si ☐ | No ☐

COBERTURA Y USO DEL SUELO

COBERTURA DEL SUELO: Veg. Herbacea ___ % | Bosque Selva ___ % | Matorrales ___ % | Cuerpo de agua ___ % | Cultivos ___ % | Construcciones ___ % | Pastos ___ % | Sin cobertura ___ %

USO DEL SUELO: Ganadería ___ % | Agricola ___ % | Recreacion ___ % | Vivienda ___ % | Mineria ___ % | Area protegida ___ % | Vias ___ % | Zona arqueológica ___ % | Zona Industrial ___ % | Sin uso ___ %

REFERENCIAS

AUTOR | AÑO | TITULO | EDITOR | CIUDAD | PAGINAS

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (*) SON OBLIGATORIOS

Figura 5. Formato para la recolección de información sobre movimientos en masa, SGC *et al*., (2013). Parte A.

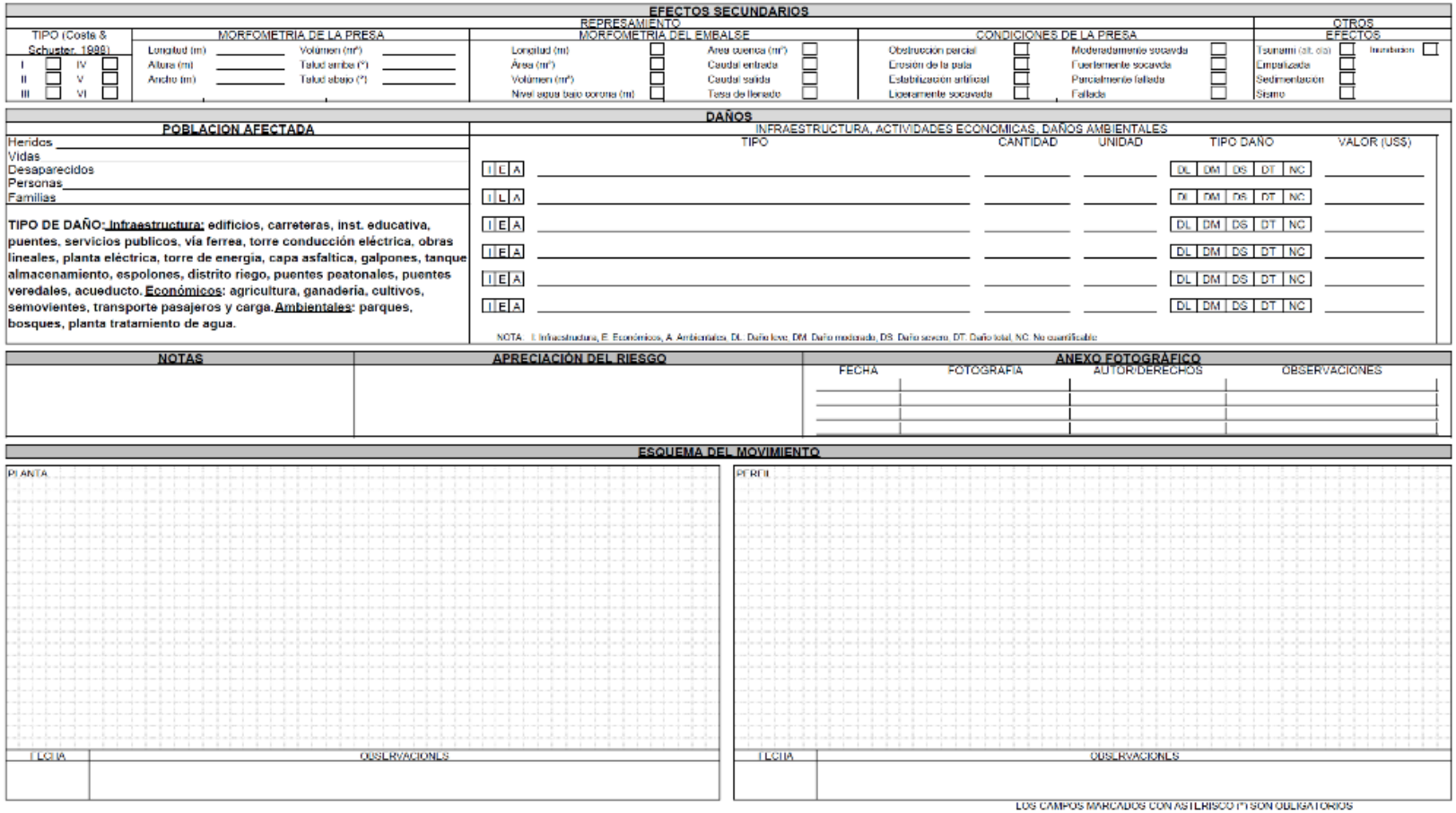


Figura 6. Formato para la recolección de información sobre movimientos en masa, SGC *et al*., (2013). Parte B.

E. Revisión final del mapa geomorfológico

En esta etapa se realiza la revisión final del mapa geomorfológico obtenido y se aplican los estándares sugeridos en el documento: Caracterización de la Metodología Geomorfológica Adaptada por INGEOMINAS, propuestos por Carvajal en el 2002, (SGC, 2012).

Estos estándares se incluyen la nomenclatura y los colores para los polígonos de las unidades geomorfológicas.

F. Realización de la memoria técnica explicativa

Una vez realizado el mapa geomorfológico, se procede a redactar la memoria técnica explicativa del mismo, siguiendo el flujograma que se indica en la Figura 7.

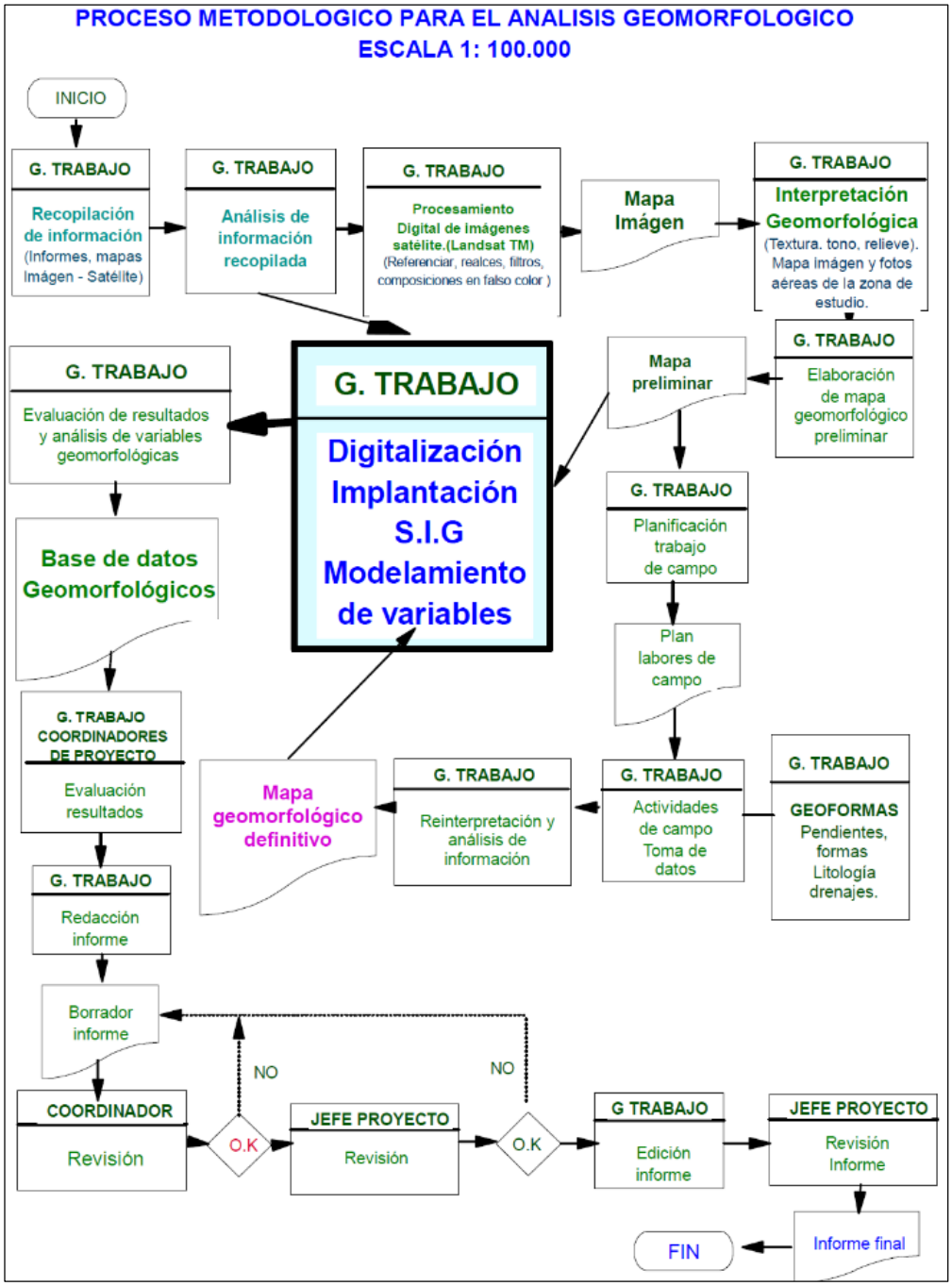


Figura 7. Flujograma detallado del proceso metodológico seguido en la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000 (SGC 2012).

ALCANCES

Este documento hace parte del análisis necesario para la generación del mapa Geomorfológico Aplicado a movimientos en masa de la Plancha 136-Málaga, donde se describen las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio a partir de los ambientes definidos previamente. La cartografía geomorfológica se realizó a una escala 1:100.000, clasificada bajo el esquema de jerarquización geomorfológica como “Unidad” (Modificado SGC, 2012). Esta cartografía aporta información sobre los procesos naturales que han dado lugar al paisaje actual y los que siguen modelando el terreno actualmente. Para esto se ha contextualizado el origen de dichas unidades en un marco geológico, cuya dinámica y o evolución en la mayoría de los casos se expresa en la morfología de la superficie. Las variables geológicas que influyen en la evolución de las geoformas de igual manera contribuyen en la estabilidad de las mismas, ya que estas encierran la composición del material expuesto y el comportamiento cinemático que lo está afectando. Cuando se definen los atributos morfogenéticos del área de trabajo, como se hizo en el presente estudio, no solo es posible hacer una reconstrucción de la historia evolutiva de las unidades geomorfológicas, sino que se provee al investigador de los argumentos necesarios para sustentar el comportamiento futuro de las geoformas actuales. Además de los procesos endógenos creadores del relieve, relacionados con la geología de la zona, se incluyen los procesos exógenos definidos por los procesos morfodinámicos (erosión y movimientos en masa) identificados en el terreno, los cuales modelan el relieve ya que éste genera la gradación o degradación de las unidades geomorfológicas, y por tanto la inestabilidad del material involucrado. Con el atributo morfodinámico determinado se busca recopilar las geoformas integrándolas con la distribución espacial de los movimientos en masa identificados en el inventario.

El mapa geomorfológico compone el 50% de todos los insumos necesarios para elaborar el mapa de Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa a escala 1:100.000, teniendo en cuenta los atributos de Morfogénesis, Morfometría y Morfodinámica, con los cuales se calificaron las unidades geomorfológicas. Por tanto, esta variable se convierte en una herramienta fundamental para evaluar el comportamiento del terreno, e identificar las unidades geomorfológicas con mayor probabilidad de presentar desplazamiento de material, y por tanto mayor susceptibilidad. A su vez se espera que la definición de las unidades geomorfológicas en la zona de estudio se aplique en la evaluación de cualquier clase de amenazas naturales, incluidos los movimientos en masa, dentro de los planes de ordenamiento territorial y por lo tanto en la planeación de obras de infraestructura, además del desarrollo de zonificaciones geomecánicas.

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

La zona de interés se encuentra dentro de la provincia de García Rovira, incluyendo en ella zona de páramos, uno de los ecosistemas con cualidades útiles para la renovación y conservación de sus componentes (fauna, flora y recursos no renovables), puesto que en él se fusionan diversos elementos que convierten a los páramos en fábricas de agua y sistemas reguladores de humedad; este régimen le permite suministrar durante un tiempo prolongado el líquido esencial para la vida, que por medio de drenajes descienden por la cordillera, transformándose en pequeños caudales, quebradas y ríos, cubriendo las vegas y valles que alimentan la cuenca del Chicamocha y buena parte del territorio Santandereano. La región muestra además de zonas de páramo, áreas muy exóticas relacionadas con los diferentes cambios climatológicos y térmicos, las cuales hacen de esta un lugar con grandes cualidades para el manejo de diferentes recursos agrícolas.

La región montañosa de la cordillera Oriental gran parte del área, en dirección general suroccidente-nororiente, lo que da lugar a una variedad de climas que abarcan desde los templados suaves hasta los fríos intensos y el típico clima de páramo.

1.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

La Cordillera Oriental es el rasgo topográfico más importante en el Departamento de Santander, en donde se encuentra siguiendo una dirección general noreste-sureste. En función de los diferentes relieves y las características del terreno observadas en la región, pueden diferenciarse tres zonas importantes: el Macizo de Santander, la zona de la Serranía de Los Cobardes o Yariguíes, que forma una barrera con elevaciones de hasta 3.000 m para separar el Valle del Magdalena al occidente del Valle del Suárez al oriente y la zona de relieves glaciares y peri-glaciares que representan las partes más altas de los páramos.

En el área comprendida por la Plancha 136-Málaga se presentan rocas metamórficas antiguas, representadas por el Neis de Bucaramanga del neo proterozoico y la Formación Silgará del Ordovícico; a la vez que rocas ígneas que incluyen la Diorita de Grano Fino, Cuarzomonzonita, Cuarzomonzonita Santa Bárbara y Granito de pescadero del triásico-jurásico terminan de configurar el basamento cristalino de la zona. Por otro lado, las rocas sedimentarias encontradas varían en edad desde el Devónico (Formación Floresta) hasta el

Paleógeno Superior (Formación Carbonera). Igualmente se encuentran variados depósitos sedimentarios recientes, de origen glaciar, coluvial y aluvial.

En su mayoría se encuentran rocas sedimentarias del Cretácico tales como las formaciones Tambor, Rosa Blanca, Paja, Tablazo y algunas más antiguas como Floresta, Silgará y el Neis de Bucaramanga, cuyos orígenes están asociados a procesos de metamorfismo, (Royero y Clavijo, 2001). En la Figura 8, se presenta el mapa Geológico de la Plancha 136-Málaga de INGEOMINAS (1984), a escala 1:100.000.

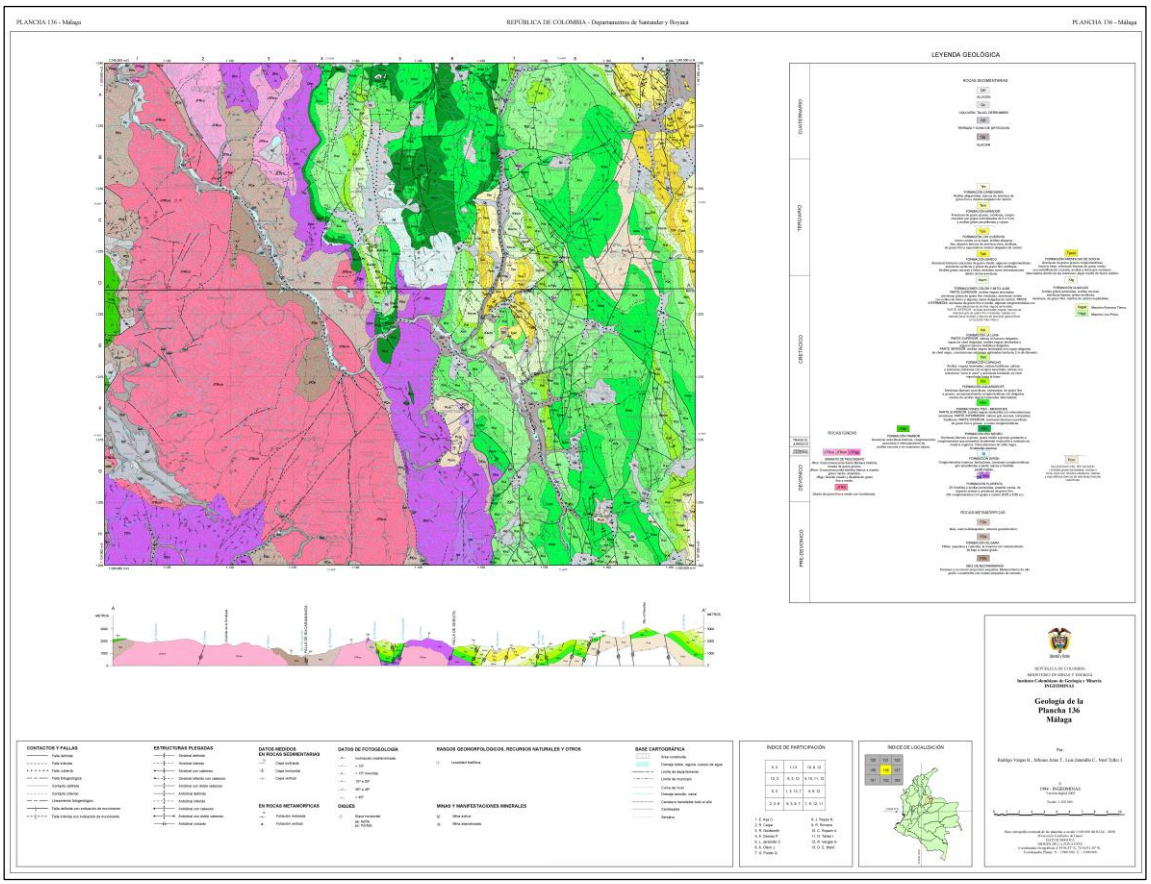


Figura 8. Mapa geológico de la Plancha 136-Málaga escala 1:100.000. INGEOMINAS, 1984.

1.1.1 Unidades Litológicas

Las unidades litológicas presentes en la Plancha 136-Málaga, se describen por su edad geológica, de más antigua a más reciente de la siguiente forma:

1.1.1.1. Neis de Bucaramanga (PDb)

El Complejo de Bucaramanga consta de una secuencia de paraneises cuarzo feldespáticos, hornbléndicos, micáceos y granatíferos y cantidades subordinadas de anfibolitas, migmatitas, cuarcitas, mármoles y esporádicamente granulitas. Localmente con masas pequeñas de Ortoneis. Goldsmith y otros (1971).

Esta unidad se encuentra definida en la zona occidental del cauce del río Chicamocha, con relación al límite de la Falla de Bucaramanga sobre el Municipio de Mogotes. Permanece en contacto con rocas pre Devónicas del Ortoneis en contacto fallado y Jurásicas de la Cuarzomonzonita, presentando una extensión aproximada de 30,4 Km^2.

La unidad se encuentra descrita en el centro de la plancha en donde su densidad de fracturamiento está relacionada a la Falla de Bucaramanga, cuyo rango es ampliamente variable, entre valores muy bajos y muy altos; el suelo presente en la unidad se encuentra variando de 0,55 a 0,65 m. de profundidad, de consolidación pobre con alta meteorización de minerales arcillosos y erosión severa, el clima predominante es de tipo templado seco.

En la zona de estudio predominan los neises bandeados, por lo cual esta formación se ha calificado como cristalina bandeada en cuanto a textura y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.2. Formación Silgará (PDs)

Esta unidad está constituida por filitas, cuarcitas, metareniscas, metaconglomerados, metalimolitas calcáreas, y filitas limosas; localmente se encuentran algunos horizontes fosilíferos en mármoles gris oscuros y filitas negras. Algunas cuarcitas y metaconglomerados. Ward *et al*., (1973).

La mayoría de cobertura de esta unidad se aloja en la parte oriental de la Falla Bucaramanga, la cual presenta un comportamiento inverso con algo de componente rumbo, en contacto fallado con rocas del Neis del Bucaramanga, Cuarzomonzonita de Santa Bárbara y La Diorita de Grano Fino. Su ubicación se da cercana a la inspección de la Laguna de los Ortices en el Municipio de San Andrés.

La unidad se encuentra en dos sectores de la plancha en donde su densidad de fracturamiento ampliamente variable, entre valores muy bajos y muy altos, principalmente relacionados a la Falla de Bucaramanga, el suelo presente en la unidad se encuentra en un valor fijo de 0,65 m. donde su consolidación es pobre con alta meteorización de minerales arcillosos y erosión severa, el clima predominante es de tipo templado seco.

En la zona de estudio el tipo de roca representativo de esta unidad son las filitas, razón por la cual esta formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina foliada, mientras en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura con calificación de.

1.1.1.3. Ortoneis (PDo)

Neis cuarzo monzonítico y granodiorítico; Neis tonalítico y diorítico; un cuerpo metamórfico de origen ígneo, con estructura néisica, aspecto masivo y composición félsica a intermedia. Ward y otros (1973).

Encontramos esta unidad ubicada mayoritariamente en la parte oriental de la Falla Bucaramanga a lo largo de los límites entre los departamentos de Santander y Boyacá, en contacto fallado con rocas del Neis del Bucaramanga, Formación Floresta, Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, Cuarzomonzonita y La Diorita de grano fino.

La unidad se encuentra en su densidad de fracturamiento ampliamente variable, entre valores muy bajos y muy altos, relacionada con la Falla de Bucaramanga; el suelo presente en la unidad se encuentra variando de 0,65 a 0,75 m. donde su consolidación es baja con alta meteorización de minerales arcillosos y erosión severa, el clima predominante es de tipo templado seco.

En esta unidad predominan las rocas tipo neis por lo cual se le asigna una calificación en cuanto a textura en la categoría cristalina bandeada; en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría extremadamente dura.

1.1.1.4. Formación Floresta (Df/Dfm/Dft)

Shales amarillentos y estratos más consistentes, en la base de la formación se encuentra un conjunto ligeramente metamorfoseado hacia las facies más bajas de los esquistos verdes que ocasionan pizarras y filitas. Propuesto por A. A. Olson y E. Caster (Caster, 1939), según Julivert, *et al* (1968).

La unidad se define de Noroeste a Sureste de la plancha de manera casi continua aumentando su cobertura hacia la parte sureste, desde el norte cerca al Municipio de Cepitá, en la zona intermedia por los alrededores del Municipio de Covarachía y al sur en límites del Municipio de Onzaga. En contacto con rocas del Neis de Bucaramanga, Formación Silgará, Ortoneis, Cuarzomonzonita, Diorita de Grano Fino, Paleozoico del Río Nevado y algunas unidades cretáceas como Formación Tibú - Mercedes y Aguardiente.

Se encuentra en dos sectores de la plancha en donde su densidad de fracturamiento es ampliamente variable, entre valores muy bajos y muy altos, resaltando su contacto con algunas fallas regionales como la Falla de Bucaramanga y Servitá; el suelo presente en la unidad se encuentra variando de

0,37 a 1,20 m. donde su consolidación es considerable debido a la baja meteorización de minerales arcillosos y erosión ligera, el clima predominante es de tipo frío muy húmedo con algunas variaciones a templado húmedo en sectores de Mogotes.

En esta unidad para la zona de estudio predominan las filitas, razón por la cual se le ha asignado una calificación en cuanto a textura como cristalina foliada; en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.5. Paleozoico del Río Nevado (PCrn)

La unidad consta de limolitas gris verdosas y rojizas, lodolitas rojo grisáceas con nódulos calcáreos, lutitas gris amarillentas, alternancia de calizas y niveles delgados de conglomerados con fragmentos de caliza y areniscas. Estos sedimentos corresponden a un ambiente de plataforma marina o un dominio de zonas de aguas poco profundas.

La unidad se encuentra aflorando en los alrededores del Municipio de Covarachía Boyacá y Carcasí Santander, donde las extensiones son inferiores a 25 Km^2. En contacto con el Ortoneis, la Formación Floresta, Tibú - Mercedes, Aguardiente y Barco.

La unidad presenta una densidad de fracturamiento moderada, aunque con valores que alcanzan desde muy alta densidad hasta muy baja, asociados a fallas locales cercanas a la Falla de Bucaramanga y la Falla de Servitá; el suelo posee valores de profundidad de 0,23 a 0,47 m. caracterizado por baja consolidación al presentar erosión moderada y meteorización media, en clima de tipo frío húmedo.

En la zona de estudio esta unidad está compuesta mayoritariamente por limolitas, razón por la cual se le asigna una calificación textural como clástica consolidada, mientras que en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura.

1.1.1.6. Diorita de Grano Fino (JTRd)

La diorita del río Guaca es de color gris, de grano medio a fino, subporfirítica, compuesta por andesina, cuarzo, microclina y biotita. Su principal composición es de plagioclasas extensamente sericitizadas e indistintamente zonadas y hornblenda verde azulosa.

Encontramos reposando esta unidad en los alrededores de la Laguna de Ortices en el Municipio de San Andrés en el costado oriental de la Falla de Bucaramanga con una extensión de 5 Km^2 aproximadamente. En contacto con rocas de la Formación Silgará y rocas Jurásicas como La Cuarzomonzonita de Santa Bárbara y la Cuarzomonzonita.

La densidad de fracturamiento presenta valores predominantemente medios-bajos, a pesar de que se pueden encontrar valores extremos (muy altos y muy bajos), relacionados con el sistema de la Falla de Bucaramanga; el suelo generado presenta características de erosión severa y meteorización baja con espesores de 0,35 a 0,55 m, consolidación muy pobre en clima de tipo templado seco.

En esta unidad para la zona de estudio predomina la diorita, razón por la cual se le ha asignado una calificación textural en categoría cristalina masiva, mientras en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.7. Cuarzomonzonita (JRcm)

Cuarzomonzonita biotítica, blanca a rosada de grano medio a grueso, compuesta de cuarzo gris, plagioclasa blanca y feldespato potásico. Ward *et al.,* (1973).

La unidad se presenta dentro de la plancha ubicada en la parte occidental de la Falla de Bucaramanga sobre los municipios de San Andrés (Parte Inferior), Mogotes y San Joaquín. En contacto con rocas del Neis de Bucaramanga, Formación Silgará, Formación Floresta, el Ortoneis, Granito de Pescadero, Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, Formación Tibú - Mercedes y algunos depósitos cuaternarios de tipo Aluvial y Coluvial.

La densidad de fracturamiento se define alta (aunque se presentan valores variables, que alcanzan incluso los muy bajos), relacionada con el sistema de la Falla de Bucaramanga asociado al río Chicamocha; el suelo generado presenta espesores de 0,42 a 0,65 m. caracterizado por erosión severa y meteorización baja, consolidación muy pobre en clima de tipo templado seco.

En esta unidad para la zona de estudio predomina la cuarzomonzonita, razón por la cual se le ha asignado una calificación textural en la categoría cristalina masiva, mientras en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.8. Cuarzomonzonita Santa Bárbara (JTRcs)

En estos batolitos las rocas son de composición cuarzomonzonítica principalmente, con variaciones locales a granito y granodiorita. La cuarzomonzonita es rosada, gris clara, biotítica, de grano mediano, equigranular a subporfirítica, compuesta de cuarzo gris, plagioclasa blanca y feldespato potásico en cantidades más o menos iguales. Goldsmith y otros (1971).

La unidad se define en el sector del Municipio de San Andrés, en el sector de la Laguna de los Ortices, sobre la franja oriental del cauce del río Chicamocha que a su vez se encuentra ligado a la Falla de Bucaramanga. Esta unidad se encuentra en contacto con rocas de la Formación Silgará, Floresta y La Cuarzomonzonita.

La unidad presenta una densidad de fracturamiento en general baja, resaltando algunos sectores el aumento de densidad en la ramificación de la Falla de Bucaramanga a densidades moderadas; la generación de suelo es alta alcanzando valores de espesor de 0,55 hasta 1,10 m. con características de erosión moderada y baja consolidación, en suelos de clima frío húmedo.

En esta unidad para la zona de estudio predomina la cuarzomonzonita, razón por la cual se le ha asignado una calificación textural en la categoría cristalina masiva, mientras en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.9. Granito de Pescadero (JTRgp)

El granito es de color rosado naranja, de grano fino a muy fino, equigranular a ligeramente porfirítico; está compuesto de plagioclasa (albita), ortoclasa, micropertita y cuarzo en cantidades casi iguales; los accesorios son óxidos de hierro, moscovita, biotita y zircón (Ward *el al.,* 1973).

Unidad limitada a la franja del Municipio de Cepitá en la zona más noroccidental de la plancha, presentándose como pequeñas extensiones inferiores a 5 Km^2. En contacto directo con el cauce del río Chicamocha y con la Formación Silgará y la Cuarzomonzonita.

La densidad de fracturamiento es media, relacionada con fallas locales ramificadas del sistema de la Falla de Bucaramanga; el suelo presenta erosión severa y meteorización alta con poca consolidación, con profundidades de suelo de 0,75 m. en un clima de tipo templado seco.

En esta unidad para la zona de estudio predomina la cuarzomonzonita, razón por la cual se le ha asignado una calificación en textura de la categoría cristalina masiva, mientras en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.10. Formación Girón (Jg)

Compuesta por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente conglomerática, de color rojo violáceo, rojo grisáceo y gris verdoso, estratificación cruzada, en capas gruesas, con interestratificaciones de limolitas y lodolitas, de color rojo violeta, grisáceo y algunos niveles delgados de conglomerados con guijos de cuarzo hasta de 4 cm. Hettner (1892).

Esta unidad aflora concordante con el Municipio de Molagavita, donde se encuentra en contacto fallado con la Formación Floresta en relación a fallamiento acorde con los esfuerzos principales de la falla de Bucaramanga; a su vez se encuentra asociada con las formaciones de Río Negro, Tibú-Mercedes y Aguardiente.

La unidad presenta una densidad de fracturamiento moderada asociadas a fallas locales cercanas a la Falla de Bucaramanga y la Falla de Servitá; el suelo posee valores de profundidad de 0,22 a 0,48 m. caracterizado por baja consolidación al presentar erosión moderada y meteorización media, en clima de tipo frío húmedo.

En la zona de estudio esta unidad está compuesta mayoritariamente por conglomerados, razón por la cual se le asigna una calificación textural en la categoría clástica cementada, mientras que en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.11. Formación Tambor (Kita)

Está constituida por areniscas conglomeráticas, lodolitas rojo grisáceas y cuarzo areniscas gris amarillentas, con estratificación cruzada, en capas tabulares de espesores variables. Estas facies han sido interpretadas como depósitos fluviales acumulados por corrientes trenzadas. Cediel (1968) y redefinida por Laverde (1985).

La unidad se encuentra definida en los alrededores del Municipio de Curití, en la parte central de la plancha en el límite occidental, donde su extensión muy baja en comparación a las otras formaciones cretáceas. En contacto con rocas de la Formación Silgará y La Cuarzomonzonita.

La unidad se define con una densidad de fracturamiento baja (aunque con presencia de valores variables) relacionada con su baja cobertura dentro de la plancha y al tener poco contacto con fallas regionales; el suelo generado presenta espesores de 0,55 a 0,75 m. donde la consolidación es moderada con erosión media y baja meteorización, en clima de tipo templado seco.

Dado que en esta unidad, en el área de interés, predominan las areniscas, se le asigna una calificación textural en la categoría cristalina cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.12. Formación Río Negro (Kirn)

Compuesta de areniscas grises, verdosas a moteadas, grano fino a grueso, arcósicas que pasan a cuarzo areniscas, con algunas intercalaciones de conglomerados grises e intercalaciones delgadas de lodolitas grises a verdosas, levemente calcáreas, en capas delgadas y medianas. Estos sedimentos se depositaron en un ambiente deltaico-fluviátil y en lagunas costeras (García, *et al*., 1980).

Esta unidad del Cretácico temprano se puede ver aflorando en los cabezales de los municipios de Málaga, San José de Miranda y norte de Molagavita, donde los principales contactos son con rocas de edades relativamente homogéneas como

la Formación Tibú-Mercedes, Aguardiente y algunas más antiguas como la Formación Floresta, Girón y La Cuarzomonzonita.

La unidad presenta una densidad de fracturamiento moderada (aunque se evidencian valores extremos, muy altos y muy bajos) asociada a fallas locales cercanas a la Falla de Bucaramanga y la Falla de Servitá; el suelo posee valores de profundidad de 0,32 a 0,45 m. caracterizado por moderada consolidación al presentar erosión ligera y meteorización media, en clima de tipo templado a frio seco.

En esta unidad para la zona de estudio predominan las areniscas, razón por la cual se le ha asignado una calificación de textura en categoría clástica cementada. En términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.13. Formación Tibú – Mercedes (Kitm)

Constituida por una alternancia de calizas biomicríticas, gris oscuras, localmente arenosas y arcillosas, lodolitas y areniscas gris oscuras, fosilíferas, micáceas. Hacia la parte inferior se encuentran areniscas de grano medio a conglomeráticas, levemente calcáreas, micáceas e interpuestas por capas de lodolitas grises, con nódulos ferruginosos. Estos sedimentos se depositaron en un ambiente marino de aguas tranquilas o con corrientes ligeramente reductoras.

Unidad definida en la parte oriental de la plancha con mayor intensidad de cobertura sobre los municipios de Málaga, San José de Miranda y Enciso hacia el norte; en la parte inferior cerca de Capitanejo, Macaravita y San Miguel. Sus principales márgenes están definidos por formaciones del Cretácico como Río Negro, Aguardiente, Capacho, Luna y Paleozoico Río Nevado.

La unidad se define con una densidad de fracturamiento baja – media relacionada con fallas regionales Servitá y Bucaramanga, así como algunas otras estructuras regionales que influyen en el área; el suelo generado presenta espesores de 0,52 a 0,8 m. donde la consolidación es moderada con erosión media y baja meteorización, en clima de tipo templado seco.

En la zona de estudio esta unidad está compuesta mayoritariamente por shales, razón por la cual se le asigna una calificación textural de categoría clástica consolidada, mientras que en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.14. Formación Aguardiente (Kia)

Consta de areniscas de cuarzo, grises a gris claras, de grano fino, medio y grueso, glauconíticas, con estratificación cruzada e intercalaciones delgadas de lodolitas grises a negras, carbonosas y micáceas. Para Fabre (1985) la sedimentación de esta unidad representa un frente deltaico.

Esta unidad se encuentra en los municipios de Málaga, Carcasí, San José de Miranda y Enciso hacia el norte; en la parte inferior lo observamos sobre los alrededores de Capitanejo, Macaravita y San Miguel. Sus principales márgenes están definidos por formaciones del Cretácico como Río Negro, Tibú - Mercedes, Capacho, Luna y Paleozoico Río Nevado.

La unidad presenta una densidad de fracturamiento moderada asociadas a fallas locales cercanas a la Falla de Bucaramanga y la Falla de Servitá, también a algunas estructuras regionales que influyen en el área; el suelo posee valores de profundidad de 0,38 a 0,60 m. caracterizado por moderada consolidación al presentar erosión ligera y meteorización media, en clima de tipo templado seco.

En esta unidad, para la zona de interés, predominan las calizas por lo cual esta formación ha sido calificada textura categoría cristalina masiva y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.15. Formación Capacho (Kic)

La parte inferior de la unidad corresponde a lodolitas negras, laminadas, localmente calcáreas, con nódulos calcáreos, con escasas intercalaciones de areniscas de cuarzo, grises, de grano fino y calizas grises, arenosas, fosilíferas, en capas delgadas; la parte media se compone de areniscas de cuarzo, grises, de grano fino, micáceas, localmente glauconíticas, calizas gris oscuras, lumaquélicas, localmente micríticas, en capas medianas y gruesas, con intercalaciones de lodolitas negras, calcáreas, localmente fosilíferas; la parte superior está constituida principalmente de lodolitas grises con delgadas intercalaciones de calizas grises, arenosas, lumaquélicas y areniscas grises y amarillentas, de grano fino, en capas medianas. Estos sedimentos se depositaron en un ambiente marino de aguas tranquilas, evidenciado por la presencia de glauconita y pellets fosfatizados.

La unidad se presenta en áreas de la parte oriental de la plancha en los municipios de Málaga, Carcasí, San José de Miranda y Enciso hacia el norte; en la parte inferior se asocia a los alrededores de Capitanejo, Macaravita y San Miguel. Sus principales márgenes están definidos por formaciones del Cretácico como Río Negro, Tibú - Mercedes, Aguardiente, Luna y Paleozoico Río Nevado.

La unidad se define con una densidad de fracturamiento baja – media relacionada con fallas regionales Servitá y Bucaramanga y algunas estructuras regionales de influencia en el área; el suelo generado presenta espesores de 0,43 a 0,6 m. donde la consolidación es baja con erosión moderada y media meteorización, en clima de tipo templado seco.

En el área de interés se observa un predominio de shales, por lo cual esta formación se ha calificado con textura categoría clástica consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.16. Formación La Luna (Ksl)

La unidad está constituida por calizas gris oscuras, arcillosas, lutitas grises a negras, calcáreas, en capas delgadas, lutitas gris oscuras con delgadas intercalaciones de calizas arcillosas, concreciones de calizas con fósiles, que alcanzan más de dos metros de diámetro y capas delgadas de chert negro y también capas fosfáticas hacia la parte superior. En el Valle Medio del Magdalena la Formación La Luna se subdivide en tres miembros: el inferior Salada, el intermedio Pujamana y el superior Galembo. El ambiente de deposición es marino de aguas relativamente poco profundas, con poca ventilación en el fondo (Garner en Julivert *et al*., 1968).

Se resalta esta unidad en zonas de los municipios de Málaga, Carcasí, San José de Miranda y Enciso hacia el norte; en la parte inferior sobre los alrededores de Capitanejo, Macaravita y San Miguel. Sus principales márgenes están definidos por formaciones del Cretácico como Río Negro, Tibú – Mercedes, Aguardiente, Capacho y Paleozoico Río Nevado.

La unidad presenta una densidad de fracturamiento moderada asociadas a fallas locales cercanas a la Falla de Bucaramanga y la Falla de Servitá, así como a algunas estructuras regionales que afectan la zona; el suelo posee valores de profundidad de 0,28 a 0,37 m. caracterizado por baja consolidación al presentar erosión moderada y meteorización media, en clima de tipo templado seco.

Para esta zona, en esta unidad se encuentra como tipo predominante de roca la caliza, por lo cual esta formación se ha calificado con textura cristalina masiva y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.17. Formación Colón y Mito Juan (Kscm)

Consta de lodolitas grises, gris oscuras a negras, fosilíferas (foraminíferos), levemente calcáreas, piritosas, con nódulos ferruginosos y algunas capas de calizas grises, lumaquélicas. Esta unidad presenta capas de lodolitas gris verdosas con intercalaciones de limolitas y algunas capas delgadas de carbón hacia la parte alta. Las características faciales de esta unidad indican ambientes contiguos de avances y retrocesos del nivel del mar en depósitos de aguas algo profundas, bajo condiciones anóxicas.

Esta unidad se presenta en los municipios de Málaga, Carcasí, San José de Miranda y Enciso hacia el norte; en la parte inferior en los alrededores de Capitanejo, Macaravita y San Miguel. Sus principales márgenes están definidos

por formaciones del Cretácico como Tibú - Mercedes, Aguardiente, Capacho, Luna y Paleozoico Río Nevado.

La unidad presenta una densidad de fracturamiento baja a media principalmente relacionada con fallas regionales Servitá y Bucaramanga (y algunas estructuras más regionales); el suelo generado presenta espesores de 0,38 a 0,6 m. donde la consolidación es moderada con erosión ligera y media meteorización, en clima de tipo frío húmedo.

Para la zona de estudio se considera que los shales son el tipo de roca principal que compone esta unidad, por lo cual esta formación se ha calificado con textura clástica consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura.

1.1.1.18. Formación Barco (Tpb)

Esta unidad se compone de areniscas de cuarzo grises, comúnmente con cuarzo, bastante brillante, de grano fino a medio, con estratificación cruzada, localmente arcilloso, alternado con lodolitas gris oscuras, ligeramente micáceas, carbonosas, con nódulos ferruginosos. Se presentan cintas o capas muy delgadas de carbón hacia la parte superior. El ambiente deposicional parece ser bajo condiciones lagunares deltaicas.

Unidad definida en el costado oriental del área de la plancha, asociada a las terminaciones de las estructuras sinclinales El Coronel y Delgadito; y el Anticlinal de Vaco Ancho. Abarcando las formaciones terciarias de Los Cuervos, Mirador y Carbonera. Presentando algunos contactos fallados con Paleozoico Río Nevado, La Formación Aguardiente, Tibú – Mercedes y Colon Mito Juan.

La unidad presenta una densidad de fracturamiento alta, asociada principalmente a fallas locales cercanas a la Falla de Servitá, así como a otras estructuras regionales que influyen el área; el suelo posee valores de profundidad de 0,27 a 0,37 m. caracterizado por media consolidación al no presentar erosión y meteorización baja, en clima de tipo extremadamente frío húmedo.

Dado que en esta unidad, en el área de interés, predominan las areniscas, se le asigna una calificación textural de categoría clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.19. Formación Los Cuervos (Tpic)

Está constituida en su parte inferior por lodolitas grises a gris oscuras, carbonosas e intercalaciones de areniscas, con algunas capas explotables de carbón. La parte media se compone de areniscas gris amarillentas, cuarzosas, localmente feldespáticas, con pequeñas intercalaciones de lodolitas gris oscuras, carbonosas y capas de carbón entre 0,10 y 2,50 m de espesor. En la parte

superior presenta lodolitas grises, carbonosas, ligeramente micáceas y ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas grises, carbonosas. Se asume que el ambiente de depósito fue transicional (deltaico).

La unidad se encuentra en el costado oriental del área de la plancha, asociada a las terminaciones de las estructuras sinclinales El Coronel y Delgadito; y el Anticlinal de Vaco Ancho. Delimitado por las formaciones Paleógenas de Barco, Mirador y Carbonera. Presentando algunos contactos fallados con la Formación Aguardiente, Colon Mito Juan y algunos depósitos Aluviales y Coluviales.

Presenta con una densidad de fracturamiento media a alta relacionada principalmente a la Falla de Servitá; el suelo generado presenta espesores de 0,21 a 0,30 m. donde la consolidación es baja – media con falta de erosión y baja meteorización, en clima de tipo extremadamente frío húmedo.

En la zona de estudio esta unidad está compuesta mayoritariamente por lodolitas, razón por la cual se le asigna una calificación textural en la categoría clástica consolidada), mientras que en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura.

1.1.1.20. Formación Mirador (Tem)

Esta unidad está compuesta principalmente por areniscas de cuarzo, blancas y gris claras, de grano fino a medio y ligeramente conglomeráticas, carbonosas, con algunos intraclastos lodolíticos; en la parte media-alta se presenta un nivel de arcillolitas grises, carbonosas, con intercalación de areniscas de cuarzo, de grano fino. La parte superior está conformada por una secuencia de areniscas gris claras, grano medio a ligeramente conglomeráticas, feldespáticas y ferruginosas. Se trata de sedimentos continentales a localmente epicontinentales.

Esta unidad es definida sobre el costado oriental del área de la plancha, asociada a las terminaciones de las estructuras sinclinales El Coronel y Delgadito; y el Anticlinal de Vaco Ancho. Concordando con las formaciones Paleógenas de Barco, Los Cuervos y Carbonera. Presentando algunos contactos fallados con la Formación Aguardiente, Colon Mito Juan y algunos depósitos Aluviales y Coluviales.

Presenta una densidad de fracturamiento alta a media asociada a fallas locales cercanas a la Falla de Servitá, (y a algunas estructuras más regionales); el suelo posee valores de profundidad de 0,18 a 0,28 m. caracterizado por moderada consolidación al no presentar erosión y meteorización baja, en clima de tipo extremadamente frío húmedo.

En esta unidad para la zona de estudio predominan las areniscas, razón por la cual se le ha asignado una calificación en cuanto a textura en categoría clástica cementada; en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.21. Formación Carbonera (Tec)

Está compuesta por una alternancia de lodolitas grises, gris verdosas y pardas, ferruginosas, con areniscas de cuarzo, gris verdosas, con restos carbonosos, dispuestas en capas medianas y gruesas; hacia la base y parte alta se tienen capas de carbón y esporádicos lentes de calizas. Los sedimentos de esta unidad se depositaron en un ambiente continental a localmente epicontinental.

Esta unidad es ligada al costado oriental del área de la plancha, conforme a las terminaciones de las estructuras sinclinales El Coronel y Delgadito; y el Anticlinal de Vaco Ancho. Acorde con las formaciones Paleógenas de Barco, Los Cuervos y Carbonera. Presentando algunos contactos fallados con la Formación Aguardiente, Colon Mito Juan y algunos depósitos Aluviales y Coluviales.

La unidad se define con una densidad de fracturamiento media – alta relacionada de forma predominante a la Falla de Servitá; el suelo generado presenta espesores de 0,22 a 0,29 m. donde la consolidación es baja con nula erosión y baja meteorización, en clima de tipo extremadamente frío húmedo.

En la zona de estudio esta unidad está compuesta mayoritariamente por lodolitas, razón por la cual se le asigna una calificación textural de categoría clástica consolidada, mientras que en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura.

1.1.1.22. Depósitos Glaciáricos (Qg)

Este tipo de depósitos está restringido a la zona de páramos y corresponden en general a morrenas laterales, que en parte se encuentran desmanteladas por erosión y son tomados como depósitos glaciares indeterminados.

La calificación promedio que se da a este tipo de depósitos (que como se ha mencionado, para la zona corresponden básicamente a depósitos de morrena) es de 3.

1.1.1.23. Terraza y Cono de Deyección (Qtf)

Se encuentra compuesta por depósitos no consolidados aluviales en abanicos y terrazas, representado por bloques de tamaños variados envueltos en una matriz arcillosa y arenácea.

La calificación que corresponde a este tipo de depósitos depende de si corresponden a terrazas, en cuyo caso se asigna una calificación de 2, o si son conos de deyección (u otros depósitos de abanico) los cuales son calificados con 3.

1.1.1.24. Coluvión, Talud y Derrumbe (Qd)

Consisten en depósitos aluviales con fragmentos angulares de roca e incluyen depósitos de talud, derrubios y material de avalancha.

Dado a su origen y características, este tipo de depósitos son muy propensos a reactivarse, representando una amenaza potencial, razón por la cual se les asigna un valor de 5 en la calificación.

1.1.1.25. Aluvión (Qal)

Se incluyen bajo esta definición 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 conos de deyección disectados por el drenaje actual.

En términos de calificación de susceptibilidad de los depósitos aluviales, se consideran aquellas zonas con depósitos de cauce y llanuras (planicies de inundación) con la categoría más baja que corresponde al valor de 1; por otro lado, aquellas zonas en donde se encuentran depósitos como conos de deyección se califican con 3.

1.1.2 Geología Estructural

El nororiente colombiano de los Andes es un territorio geológicamente complejo y tectónicamente dinámico; su conformación está relacionada con la interacción de las placas tectónicas Nazca, Caribe y Suramérica. El área de Santander por encontrarse dentro de este dominio, despierta gran interés y genera discusiones sobre su origen y su conformación geológica.

El Departamento de Santander se encuentra localizado en una región tectónica compleja y dinámica, que representa a una zona de influencia entre los límites de las placas tectónicas del Caribe y la Suramericana, conocida como bloque Andes del Norte o bloque Norandino en los trabajos de Kellogg (1984); Case, *et al*. (1984); Kellogg, *et al*. (1985); James (1985) y Boinet (1985), entre otros.

Esta provincia corresponde en buena parte a los macizos de Santander y de Floresta, y ocupan la región oriental estructural del territorio santandereano. La provincia del Macizo de Santander está subdividida en los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y Ocaña; para la Plancha 136-Málaga se encuentra ubicada bajo el bloque Cucutilla, este se caracteriza por un sistema de fallamiento en

bloques pequeños, separados por fallas inversas con inclinación principalmente hacia el occidente y por anticlinales y sinclinales estrechos truncados por el fallamiento de dirección SE-NW. Se trata de un bloque hundido, ubicado en la región más oriental de Santander; se encuentra conformado por rocas sedimentarias paleozoicas, jurásicas, cretácicas y terciarias. El bloque se presenta limitado al oriente por el sistema de fallas de Chitagá, en territorio de Norte de Santander y al occidente por las fallas de Baraya y Servitá. Además de presentar la falla de Bucaramanga, la cual es un elemento tectónico de gran importancia para el moldeamiento de esta región en relación al componente de rumbo de esta.

1.1.2.1 Falla de Bucaramanga

Ward *et al*. (1973) define la falla de Bucaramanga como el elemento tectónico más importante en la serie de fallas que se encuentran en el Macizo de Santander, desde donde se extiende hasta la costa Caribe en lo que se define como el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta. Esta estructura se encuentra catalogada como una falla de rumbo evidenciada por los fuertes buzamientos, las notables distancias por las cuales se pueden trazar los lineamientos, valles lineados y variaciones litológicas a ambos lados de la falla. Diversos autores (Campbell, 1968 y Julivert, 1958; en Ward *et al*., 1973) estiman un desplazamiento lateral izquierdo de la falla según el rumbo que varía entre 110 y 100 km. Julivert destaca la importancia de la componente vertical en el desarrollo de este lineamiento, al integrarlo como un componente vertical de un bloque montañoso levantado. Este autor relaciona la falla de Bucaramanga con una serie de fallas inversas con el bloque oriental levantado que se originó durante el desarrollo actual del valle del Magdalena.

Como evidencias de la actividad neotectónica de la Falla de Bucaramanga se encuentran expresiones geomorfológicas típicas tales como lomos de obturación, ganchos de flexión, facetas triangulares, silletas, cauces desviados, lagunas tectónicas, escarpes de falla y cambios bruscos de pendiente (Paris *et al.*, 2000) igualmente, el desplazamiento sinestral de esta falla queda evidenciado por el desplazamiento y basculamiento de depósitos aluviales del cuaternario que se encuentran en cercanías de su trazo.

1.1.2.2 Falla de Servitá

La Falla de Servitá presenta una dirección general N-S, limitando las cuencas estructurales de Málaga al oeste y de Cerrito al este (Ward *et al*., 1973). Se extiende por una longitud aproximada de 65 km. Esta falla tiene un comportamiento vertical inverso, con vergencia este (Royero y Clavijo 2001) poniendo en contacto rocas jurásicas de la Formación Girón al oeste y rocas cretácicas y paleógenas al este (Ward *et al*., 1973).

Como evidencia de la actividad neotectónica de esta falla se observan cambios abruptos de pendiente en la zona de falla, al igual que plegamiento de depósitos cuaternarios, escarpes de línea de falla en sedimentos no consolidados, terrazas aluviales y coluviales desplazadas, cauces desplazados, silletas, valles aluviales alineados y lomos de falla (Paris *et al.,* 2000)

1.1.2.3 Falla de Onzaga o Boyacá

Vargas *et al*. (1976) Propone esta falla como satélite de la Falla de Bucaramanga. En su parte más N es apenas un alineamiento del Batolito de Mogotes, pero hacia el S adquiere importancia sirviendo de limite W a una franja Cretácica de forma sinclinal que se conserva como retazo interno dentro del macizo.

La fractura presentada por el macizo es generalmente N-S y esta falla tiene claramente igual dirección. Su movimiento parece ser muy vertical pues su traza es muy rectilínea. La falla de Onzaga o Boyacá separa el Batolito de Mogotes de la cuarzomonzonita de Santa Rosita.

1.1.2.4 Falla de Chaguaca

Vargas *et al*. (1976) Presentando la estructura como una falla con dirección en su parte más septentrional NW – SE cambiando hacia el S por una dirección NE – SW. Se indicó anteriormente que esta falla podría representar una de las expresiones más meridionales de la Falla Bucaramanga. Hacia el N se conjuga con la Falla de Onzaga o Boyacá y hacia el S su identificación dentro del macizo de Floresta es difícil.

1.1.2.5 Falla de Baraya

Vargas *et al*. (1976) Define la estructura con una amplia expresión hacia el N dentro del Cuadrángulo H – 13, hacia el S termina aparentemente contra la falla de Bucaramanga, en las cercanías de la quebrada “El Medio”. Esta falla en la parte más septentrional del cuadrángulo, presenta varias fallas satélites que complican la estructura y es la causante de la aparición de los afloramientos de la Formación Girón, al W y S de Pangote y en las cabeceras del río Congreso.

1.1.2.6 Estructuras Plegadas hacia el oriente del río Servitá

Vargas *et al*. (1976) Definen la estructura sinclinal relativamente estrecha, compuesta por rocas del Cretácico y paleógeno tomando como flancos la formación cretácica Colon y Mito Juan, seguida por la Formación Barco, Los Cuervos, Mirador y Carbonera como núcleo, asociado a una serie de plegamientos hacia el oriente del río Servitá y el Municipio de Carcasí; comprendidos de occidente a este en el siguiente orden: Sinclinal el Coronel, Anticlinal de Vaco Ancho y Sinclinal Delgadito.

Seguida por la estructura anticlinal estrecha, compuesta por rocas del Cretácico y Paleógeno con inclinaciones hasta de 55° en el flanco oriental de la estructura, las rocas se encuentran de manera invertida con relación a la anterior estructura descrita, el núcleo está comprendido por rocas de la Formación Colon y Mito Juan y desciende hacia los flancos desde la Formación Barco y Los Cuervos.

Al final, muestra la tendencia de la estructura sinclinal más amplio de las tres al oriente, donde su núcleo se encuentra constituido por la Formación Mirador y desciende hasta la Formación Colón y Mito Juan en los flancos laterales. Las inclinaciones son en promedio de 35°. Esta se encuentra atravesando el río Anagá en el área de la plancha 121 Cerrito.

La zona próxima al Macizo se presenta como una estructura simple buzando hacia el E y formando en cierta manera, el flanco de un sinclinal amplio que se extiende hacia el S, desde un poco al N de Molagavita hasta el río Chicamocha. Sin embargo existen una serie de estructuras imbricadas que complican notoriamente el flanco W de esta estructura.

1.2 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES

La zona de interés se encuentra ubicada sobre la provincia de García Rovira, la cual comprende una zona limitante con el Departamento de Boyacá, comprendiendo alturas desde 800 hasta 3650 msnm.

Según datos de los municipios que comprenden su territorio, encontramos una precipitación media entre 1250 y 1375 mm anuales, con un régimen de lluvias bimodal, es decir presentándose dos temporadas húmedas en los meses de marzo y abril; nuevamente en agosto y septiembre.

En la zona la temperatura media es de 17°C y la humedad relativa de 75 %; además de esto, se encuentra en la zona de estudio un brillo solar de 4–7 h/día, cuyos valores fluctúan entre 2100 a 2600 horas de sol al año, siendo un factor que interviene notablemente en los cambios climáticos, acelerando el proceso de evapotranspiración e influyendo en la tendencia de aridez. Cabe resaltar que este factor va de la mano con la temperatura y el índice de humedad de la zona de estudio.

La zona de estudio presenta variabilidad en el clima, disminuyendo la temperatura hacia la zona este del área y a su vez aumentando de manera inversamente proporcional a esta la altura a la que se encuentra, dándole valores asociados a los pisos térmicos presentes desde piso subtropical de valores de altitud entre 850 y 170 msnm; piso meso térmico o templado abarcando desde 1750 a 2450 msnm; piso micro térmico o frío asociado a altitudes entre 2450 y

3600 msnm, distribuidos de manera heterogénea o sectorizados de oeste a este, marcando la zona subtropical al oeste y la zona de páramo hacia la zona este.

1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS

Para la identificación de las principales características y cualidades de los suelos contenidos en la Plancha 136-Málaga, se tomó en cuenta los estudios generales de suelos a escala 1:100.000 de los departamentos de Santander (IGAC, 2003) y Boyacá (IGAC, 2004), que se distribuyen entre los paisajes de montaña con 88% (32 unidades), lomerío 6% (2 unidades) y las zonas urbanizadas con 6% (2 unidades). La plancha agrupa 36 unidades cartográficas de suelos (UCS); estas unidades se extienden sobre los pisos climáticos extremadamente fríos, muy fríos, fríos, templados y cálidos muy húmedos, húmedos y secos respectivamente.

En esta plancha predominan suelos de los órdenes Entisoles, Inceptisoles, Molisoles y Andisoles asociados en algunos de los casos a afloramientos rocosos, en menor grado se presentan los Alfisoles, los cuales tienen un desarrollo pedogenético que varía de bajo y alto, que se relacionan con la predominancia de geoformas de baja estabilidad, correspondientes a las vertientes y laderas de montaña y lomeríos. La topografía varía entre ligeramente inclinada, moderada y fuertemente escarpada con pendientes superiores al 50% en la mayoría de la zona, y con procesos erosivos localizados entre ligeros y severos.

Los suelos se han derivado de materiales parentales de origen sedimentario, ígneo y metamórfico, con cobertura de ceniza volcánica y material orgánico en algunos casos. Se caracterizan por la variabilidad en su drenaje natural, entre excesivos a muy pobremente drenados; son muy superficiales hasta profundos; de reacción (pH) fuertemente a extremadamente ácida y fertilidad baja en las zonas húmedas y muy húmedas, mientras que en las zonas secas tienden a ser ligeramente alcalinos y neutros con fertilidad natural media y alta. En la montaña, las texturas varían entre moderadamente finas (FAr, FArA, FArL) y finas (Ar, ArL, ArA) esqueléticos y fragmentales, con algunos sectores moderadamente gruesos (FA) y de texturas medias (F, FA, FL, L). En los lomeríos, se presentan texturas finas, medias y gruesas (A, AF), en matriz esquelética y fragmental. En los relieves de acumulación tienden a dominar suelos de texturas finas y moderadamente finas en matriz esquelética y fragmental.

La composición mineralógica de los suelos está dominada por arcillas de tipo caolinita y montmorillonita, en menor proporción se encuentran las alófanas derivadas de cenizas volcánicas, la muscovita y vermiculita.

2. GEOMORFOLOGÍA DE LA PLANCHA 136-MÁLAGA

La plancha 136, que comprende parte de los departamentos de Santander y Boyacá, se encuentra ubicada en la geomorfoestructura denominada Sistema Orogénico Andino, el cual corresponde a un cinturón plegado y fallado, en donde se agrupan características tectónicas regionales.

En esta misma geomorfoestructura, se localiza la provincia Cordillera Oriental, el cual se encuentra limitado por el Valle Medio del Magdalena al oeste, y que se divide para dar lugar en esta zona a tres regiones, que abarcan de oeste a este, el Macizo de Floresta, el Macizo de Santander y el páramo de Montebello-Vertiente Occidental de la Cordillera Oriental, que limitan entre sí por fallas de importancia regional como lo son el Sistema de Fallas de Bucaramanga y la Falla de Servitá (de oeste a este); y aunque estas regiones presentan morfologías similares a primera vista, varían en las litologías que las conforman y en las estructuras que exhiben, dando origen así a gran variedad de unidades geomorfológicas.

En general, en la zona de interés predominan las geoformas de origen morfoestructural, que se originan por la expresión morfológica y la acción de las diferentes fallas encontradas entre las que destacan el Sistema de Fallas de Bucaramanga y la Falla de Servitá, como en relación a diferentes estructuras plegadas (sinclinales, anticlinales y homoclinales). En segundo lugar se encuentran las geoformas que se originan gracias a procesos denudativos, en donde la ubicación geográfica de la zona y sus características climáticas, e incluso la intervención humana juegan un papel importante.

En menor proporción es posible encontrar geoformas asociadas a los ambientes fluvial y glaciar; el primero asociado principalmente al río Chicamocha, que representa el drenaje de mayor importancia en la plancha y cuyo cauce va siguiendo en gran parte de su extensión el trazo del Sistema de Fallas de Bucaramanga, mientras el segundo se relaciona a los procesos periglaciares de la Sierra Nevada de El Cocuy, razón por la cual las unidades vinculadas a este ambiente se encuentran hacia la parte NE del área de estudio.

Con base a lo anterior, y como se detalla en la Tabla 6, para la Plancha 136-Málaga se definen cuatro ambientes morfogenéticos, cuya distribución porcentual

está dada así: Denudacional (36,38%), Fluvial y Lagunar (3,77%), Glaciar (3,47%) y Estructural (56,39%).

Tabla 6. Ambientes y unidades geomorfológicas de la Plancha 136-Málaga, con su área y porcentaje.

Ambiente	Unidad	Código	Área (Km^2)	(%) Unidad	(%) Ambiente
Denudacional (D)	Cima	Dc	1,62	0,08	36,38
	Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión	Dco	112,23	5,61	
	Cerro remanente o relicto	Dcrem	7,47	0,37	
	Cono de deslizamiento indiferenciado	Ddi	1,78	0,09	
	Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional	Ddrt	0,59	0,03	
	Escarpe de erosión mayor	Deem	4,71	0,24	
	Escarpe de erosión menor	Deeme	16,90	0,85	
	Loma denudada	Dld	7,09	0,35	
	Lomeríos disectados	Dldi	35,59	1,78	
	Ladera erosiva	Dle	70,31	3,52	
	Montículo y ondulaciones denudacionales	Dmo	3,26	0,16	
	Sierra denudada	Dsd	464,35	23,22	
	Terrazas sobreelevadas o colgadas	Dts	1,63	0,08	
Ambiente Fluvial (F)	Abanico fluviotorrencial	Faa	3,77	0,19	3,77
	Cauce aluvial	Fca	6,78	0,34	
	Cono de deyección	Fcdy	19,68	0,98	
	Planicie aluvial confinada	Fpac	2,48	0,12	
	Plano o llanura de inundación	Fpi	34,35	1,72	
	Terraza de acumulación	Fta	6,50	0,33	
	Escarpe de terraza de acumulación	Ftae	0,10	0,01	
	Terraza de acumulación subreciente	Ftas	1,66	0,08	
Ambiente Glaciar (G)	Conos glaciofluviales	Gcgf	3,72	0,19	3,47
	Cono o lóbulo de gelifracción	Gclg	0,78	0,04	
	Flancos de valle Glaciar	Gflv	0,96	0,05	
	Laguna glaciar	Glg	0,08	0,00	
	Planos y conos de sobrelavado glaciar	Gpcs	7,31	0,37	
	Plano Glaciolacustrino	Gpgl	3,52	0,18	
	Sierra anticlinal glaciada	Gsag	21,19	1,06	
	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	Gsale	2,00	0,10	

Ambiente	Unidad	Código	Área (Km^2)	(%) Unidad	(%) Ambiente
	Sierra homoclinal glaciada	Gshg	29,78	1,49	
Estructural (S)	Cuesta	Sc	74,08	3,70	56,39
	Cerro estructural	Sce	0,51	0,03	
	Ladera de contrapendiente de cuesta	Sclc	5,95	0,30	
	Ladera estructural de cuesta	Scle	20,93	1,05	
	Cornisa estructural	Scor	4,32	0,22	
	Espolón faceteado	Sefc	15,03	0,75	
	Espolón faceteado moderado de longitud larga	Sefcml	6,62	0,33	
	Espolón festoneado	Sefes	6,49	0,32	
	Espolón	Ses	73,87	3,69	
	Espolón moderado de longitud media	Sesmm	3,19	0,16	
	Faceta triangular	Sft	12,69	0,63	
	Gancho de flexión	Sgf	37,40	1,87	
	Ladera escalonada	Sles	13,88	0,69	
	Lomos de falla	Slf	15,58	0,78	
	Escarpe de línea de falla	Slfe	22,08	1,10	
	Lomo de obturación	Slo	2,36	0,12	
	Escarpe de meseta	Sme	0,28	0,01	
	Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal	Ssalc	7,74	0,39	
	Ladera estructural de sierra anticlinal	Ssale	10,96	0,55	
	Sierra anticlinal	Ssan	80,61	4,03	
	Sierra homoclinal	Ssh	28,26	1,41	
	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Sshlc	104,41	5,22	
	Ladera estructural de sierra homoclinal	Sshle	93,40	4,67	
	Sierra y lomos de presión	Sslp	132,83	6,64	
	Sierra sinclinal	Sss	94,89	4,74	
	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	Ssslc	93,30	4,67	
	Ladera estructural de sierra sinclinal	Sssle	166,14	8,31	
		Total	**2.000**	**100**	**100**

2.1 GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL

En este ambiente se incluyen las geoformas que se originan gracias a la acción combinada de diferentes procesos exógenos que modelan el paisaje, entre los que se incluyen la meteorización en general y la erosión principalmente pluvial y gravitacional. La acción de estos procesos origina geoformas tanto por la modificación realizada a unas preexistentes como por la configuración de nuevos depósitos. A continuación se describen las geoformas de origen denudacional de la Plancha 136-Málaga.

2.2.1 Cima (Dc)

Superficie amplia, cuya forma varía entre recta a ligeramente convexa. Se presenta limitada por laderas que exhiben una inclinación también variable, entre abrupta y muy abrupta. Representa el 0,08% del área total de la plancha.

Esta unidad se encuentra en la parte central de la zona, en el Municipio de Covarachía (Departamento de Boyacá) en el sector El Naranjo. Su origen suele estar relacionado a procesos de meteorización y erosión pluvial intensa, presentándose caso en donde la actividad antrópica es también influyente.

En la zona, esta geoforma tiene una expresión en donde se observa una forma convexa y se encuentra que las laderas que la limitan presentan una pendiente muy abrupta. Igualmente se encuentra asociada a las rocas de la Formación Floresta del devónico (Figura 9).

2.2.2 Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)

Unidad que se presenta en forma de cono o de lóbulos alomados bajos. Se originan por procesos de transporte gravitacional y acumulación de materiales, conformando depósitos de ladera hacia la base de la misma. También influye la acción de aguas de escorrentía y el sobre-saturamiento de acuíferos. Su composición suele ser variable, dependiendo de la fuente de material; normalmente están constituidos por bloques y fragmentos de tamaños variados de rocas preexistentes, asociados a una matriz arcillo–limosa. Representa el 5,61% del área total de la plancha. (Figura 10).

Figura 9. Sombreada en color rojo se presenta una Cuesta (Dc), localizada en la parte central de la zona, en el Municipio de Covarachía (Departamento de Boyacá) en el sector El Naranjo. Imagen CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

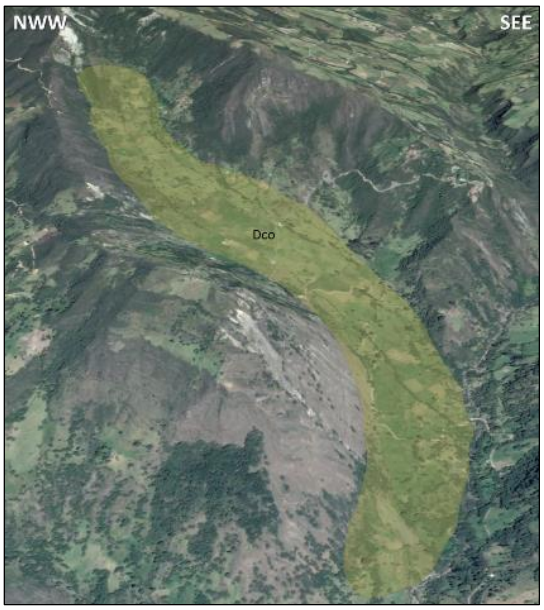


Figura 10. Sombreado en amarillo se muestra un Cono o Lóbulo Coluvial de Solifluxión (Dco) que se presenta hacia el extremo este de la plancha 136. Imagen CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

Esta geoforma es concordante con depósitos cuaternarios tipo coluviones y está presente con mayores extensiones hacia el norte del Municipio de Molagavita al

costado oriental de la Falla de Baraya. Su distribución en la plancha es homogénea, presentando en general dimensiones inferiores a 2000 m^2.

2.2.3 Cerro remanente o relíctico (Dcrem)

Unidad representada por prominencias topográficas aisladas, de morfología variable entre colinada, alomada y montañosa, que sobresalen de la superficie circundante. Se caracteriza por exhibir cimas agudas y laderas largas de forma irregular. En la zona se encuentra hacia la parte oeste, en cercanías del sector El Roble, al norte del casco urbano del Municipio de Mogotes (Departamento de Santander). Representa el 0,37% del área total de la plancha. (Figura 11).

Su origen se asocia a procesos de meteorización diferencial acentuada y antigua, así como de erosión pluvial. Se encuentra sobre rocas ígneas del jurásico pertenecientes a la Cuarzomonzonita, en contacto con una pequeña falla ramificada del Sistema de Fallas de Bucaramanga.

Figura 11. Sombreado en verde se muestra un Cerro Remanente o Relicto (Dcrem), ubicado hacia la parte oeste, en cercanías del sector El Roble, al norte del casco urbano del Municipio de Mogotes (Departamento de Santander). Imágenes Landsat y CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.2.4 Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi)

Esta unidad suele presentarse como conos de tierra o roca de morfología baja que presentan pendientes de laderas típicamente cóncavas a convexas y un relieve irregular. Se generan por procesos de remoción en masa, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla.

Los procesos de erosión observados en esta geoforma son moderados, tipo surcos y cárcavas. Representa el 0,09% del área total de la plancha.

Esta unidad se encuentra asociada a rocas del cretácico de la formación Tibú – Mercedes; cerca del cauce del río Chicamocha y a la falla del mismo nombre. También se observa esta unidad en cercanía de la localidad de Concepción pero con dimensiones inferiores. (Figura 12)

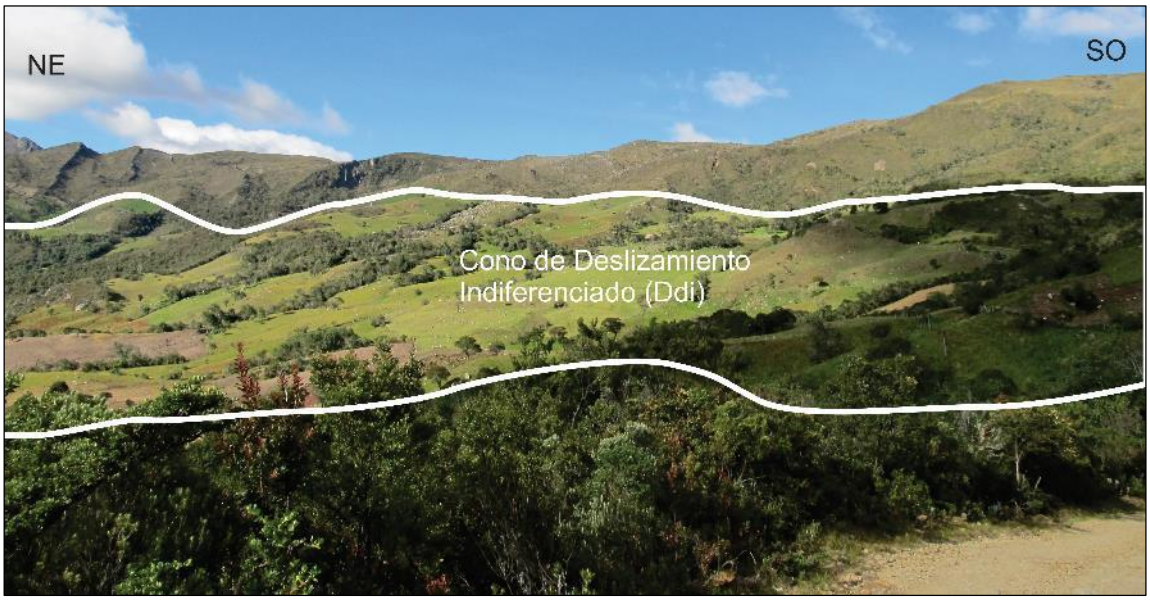


Figura 12. Vista SE. Cono de Deslizamientos Indiferenciados, donde su principal material es de tipo detrítico, asociado a pendientes bajas inferiores a 20°, esta zona es utilizada para agricultura y ganadería. Concepción, Santander. Las líneas blancas delimitan la geoforma.

2.2.5 Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (Ddrt)

Geoforma de acumulación de tierra y bloques que conforman una estructura con morfología baja, de forma alomada irregular que se hace en forma lobulada hacia la parte distal. Presenta formas irregulares, localmente escalonadas de pendientes muy inclinadas a abruptas y longitud variable, llegando a ser extremadamente larga. Su origen se asocia a la acumulación de bloques y tierra en una ladera. Representa el 0,03% del área total de la plancha.

Esta unidad de define sobre un deposito coluvión reciente, y se encuentra hacia la parte septentrional de la plancha, al norte del casco urbano del Municipio de Molagavita, Departamento de Santander (Figura 13).

Figura 13. Sombreado en violeta se muestra un Cono o Lóbulo de Deslizamiento Rotacional (Ddrt), encontrada hacia la parte septentrional de la plancha, al norte del casco urbano del Municipio de Molagavita, Departamento de Santander. Imágenes Landsat y CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.2.6 Escarpe de erosión mayor (Deem)

Escarpes verticales a subverticales que presentan longitud moderada, de forma típicamente recta y pendientes que varían entre escarpadas a muy escarpadas. Su origen se relaciona a procesos de erosión acentuada, por socavación fluvial lateral y a movimientos en masa (tipo flujos de detritos) apilados a lo largo de un drenaje mayor. Igualmente se pueden presentar en sectores en zonas en donde se presenta un alto grado de fracturamiento a causa de fallamiento o discontinuidades estructurales. Representa el 0,24% del área total de la plancha.

Esta unidad se puede encontrar asociada a cualquier litología, sin embargo en la zona se encuentra estrechamente vinculada a las rocas de la Formación Floresta del Devónico.

Esta unidad se encuentra en los alrededores del Municipio de San Joaquín hacia el sur del área y fue definida por: fotointerpretación de imágenes Landsat, mapa de sombras, Google Earth, mapa de pendientes y con el análisis de la variable suelo determinada para esta zona (Figura 14).

Figura 14. Sombreado en color marrón, se muestra un Escarpe de Erosión Mayor (Deem) encontrado hacia el noreste de la Plancha 136-Málaga. Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.2.7 Escarpe de erosión menor (Deeme)

Escarpes de longitud muy corta, con alturas menores a 20 metros, de forma variable, entre cóncava, convexa y eventualmente recta, con pendientes que se encuentran en un rango entre escarpadas y muy escarpadas. Su origen se vincula a socavación fluvial lateral y procesos de erosión, así como a movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje menor. Representa el 0,85% del área total de la plancha. (Figura 15).

La unidad se presenta limitada a los alrededores del Municipio de Covarachía hacia el sur del área, sobre la Formación Floresta (devónico); fue definida con base a fotointerpretación de imágenes Landsat, mapa de sombras, Google Earth, mapa de pendientes, así como el análisis de la variable suelos.

2.2.8 Lomas denudadas (Dld)

Esta unidad está representada por prominencias topográficas cuya altura no rebasa los 200 m sobre el nivel base local. De morfología alomada y elongada, con relieve relativo bajo, laderas cortas de forma convexa con pendientes abruptas. Su origen está asociado a procesos intensos de meteorización y de erosión diferencial de surcos y cárcavas. Representa el 0,35% del área total de la plancha.

Los procesos erosivos no predominan en esta zona debido a la cobertura vegetal y uso del suelo, lo que no permite que dichos procesos se generalicen. Sin

embargo se observan procesos de reptación que alcanzan a afectar áreas de 40x35 m, lo que produce inclinaciones bajas en árboles y algunas cercas aledañas, asociados a la alta humedad de la zona; igualmente se definen áreas de surcos y cárcavas asociados a procesos erosivos laminares cercanías al Municipio de Capitanejo (Departamento de Santander), ver Figura 16.

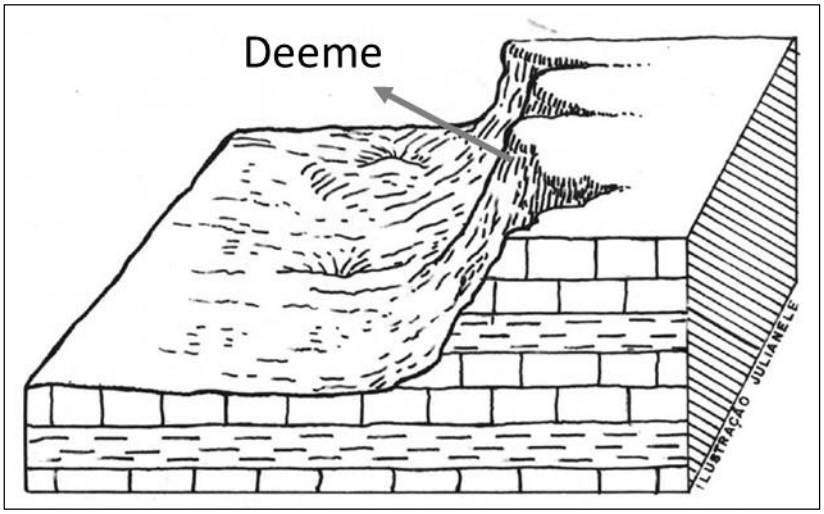


Figura 15. Esquema representativo de un escarpe de erosión menor (Deeme). Tomado y adaptado de De Almeida *et al*., 1995.

Figura 16. Vista NE. Loma denudada, las pendientes son muy suaves y forma ondulada; se encuentra asociada a zonas de ganadería y coberturas del tipo pasto con presencia de algunas áreas con reptación debido a la humedad. Concepción, Santander. La línea blanca representa la delimitación de la geoforma.

2.2.9 Lomeríos disectados (Dldi)

Se encuentran como prominencias topográficas de morfología alomada, las cuales presentan cimas redondeadas y amplias. De laderas cortas de formas variables entre rectas, cóncavas e irregulares, que además presentan pendientes que van de muy inclinadas a muy abruptas. Representa el 1,78% del área total de la plancha. (Figura 17).

En la zona de estudio esta unidad se encuentra en cercanías de los sectores Pitiguao y El Roble del Municipio de Mogotes (Departamento de Santander), hacia el oeste de la plancha, asociada a las rocas de la Formación Silgará (Ordovícico), Cuarzomonzonita (Jurásico) y Formación Tambor (Cretácico).

La génesis de esta geoforma se da por procesos denudacionales intensos, presentándose en sus laderas disección moderada; también se presentan movimientos en masa típicamente de tipo deslizamientos traslacionales cuya superficie de ruptura se encuentra a escaza profundidad.

Figura 17. En color amarillo se muestran Lomeríos Disectados (Dldi) encontrados en cercanías de los sectores Pitiguao y El Roble del Municipio de Mogotes (Departamento de Santander), hacia el oeste de la plancha. Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.2.10 Ladera erosiva (Dle)

Estas unidades se encuentran como superficies que presentan pendientes inclinadas a muy abruptas, así como longitudes que van desde moderada a extremadamente largas. La forma de estas laderas es variable, entre rectas, cóncavas, convexas e irregulares. Asociados a esta geoforma suelen encontrarse procesos de erosión intensa que actúan bien sea sobre el suelo que cubre la ladera o sobre la roca misma, tipo surcos y cárcavas. Representa el 3,52% del área total de la plancha. (Figura 18).

Figura 18. Sombreada en color magenta se presenta una Ladera Erosiva (Dle) ubicada en cercanías del Municipio de Covarachía, hacia la parte sur de la zona de estudio. Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

Se presenta ampliamente distribuida a lo largo de la plancha, encontrándose en cercanías del Municipio de Cepitá, hacia la parte norte de la plancha; en alrededores del sector de El Portachuelo del Municipio de Molagavita y en la Vereda Mongua del Municipio de Málaga hacia la parte central de la zona; y hacia el sur, se encuentra en las veredas Siotes y Satova Arriba del Municipio de Covarachía y las veredas La Loma Los Molinos y Hoya Granda del Municipio de Capitanejo. Por otro lado, se encuentra asociada a un amplio conjunto de unidades de litológicas, que abarca desde el Ortoneis del Ordovícico hasta la Formación Tibú-Mercedes del Cretácico Inferior.

En estas geoformas se pueden encontrar movimientos en masa tales como deslizamiento rotacional y caídas, involucrando en ambos casos material tipo tierra; aunque no son muy comunes.

2.2.11 Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)

Elevaciones topográficas de alturas menores a 50 metros, que presentan morfología colinada y laderas suavemente inclinadas, de formas principalmente cóncavas aunque también convexas (Figura 19). En la plancha se encuentran hacia la parte oriental de la zona, al norte del Municipio de Mogotes (Departamento de Santander). Representa el 0,16% del área total de la plancha.

Su origen se asocia a procesos de erosión intensa sobre rocas blandas y sedimentos no consolidados. Se encuentra sobre rocas pertenecientes a la Cuarzomonzonita del Jurásico.

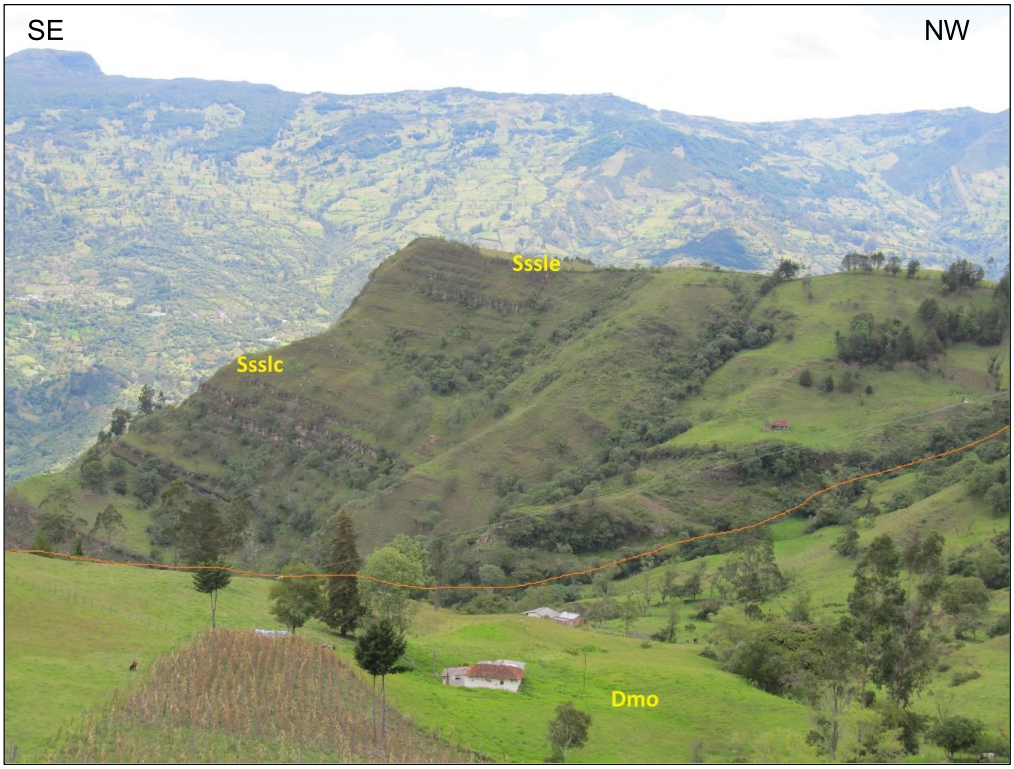


Figura 19. Montículos y Ondulaciones denudacionales (Dmo), en la Formación Río Negro. Se observan pendientes suaves y formas onduladas; la cobertura son pastos y el uso principal es la ganadería. Al fondo, ladera estructural y de contrapendiente de sierra sinclinal (Sssle y Ssslc, respectivamente). Municipio de Concepción (Santander). La línea naranja representa el contacto entre dos unidades geomorfológicas diferentes.

2.2.12 Sierra denudada (Dsd)

Prominencias topográficas de morfología montañosa y elongada de laderas largas, cóncavas a convexas, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión pluvial acentuada. Representa el 23,22% del área total de la plancha.

Su origen se asocia a procesos de erosión pluvial acentuada en sustrato rocoso ígneo homogéneo. Debido a la amplia distribución de rocas de origen ígneo dentro de la plancha en el oeste, esta geoforma se encuentra ampliamente distribuida en esta zona, encontrándose especialmente marcadas hacia la parte media de la plancha en el área occidental, en los municipios de San Andrés, Cepitá, Mogotes y San Joaquín. Sus mayores extensiones se ven delimitadas por el cauce del río Chicamocha. Involucra rocas de la Formación Floresta del devónico (Figura 20).

Figura 20. Sombreada en amarillo se muestra una Sierra Denudada (Dsd) en cercanías al Municipio de Mogotes (Departamento de Santander) al suroeste de la zona de estudio. Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.2.13 Terrazas sobreelevadas “colgadas” (Dts)

Planos y superficies denudadas 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 donde los procesos de erosión son más influyentes que los de depositación. Representa el 0,08% del área total de la plancha. (Figura 21).

La unidad se presenta cerca al Municipio de Capitanejo (Departamento de Santander), donde se encuentran areniscas duras de la Formación Aguardiente y Los Cuervos sobre las cuales reposan depósitos de terrazas.

Figura 21. Sombreada en amarillo se presenta la unidad de Terrazas Sobreelevadas "Colgadas" (Dts), ubicada en cercanías al Municipio de Capitanejo (Santander). Imágenes Landsat y CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.2 GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL Y LAGUNAR

Asociadas a este ambiente se incluyen aquellas geoformas cuya génesis está ligada a cuerpos de agua continentales (ríos y lagunas) bien sea por procesos de erosión, que le dan una nueva forma al paisaje o por procesos de depositación y acumulación de sedimentos. A continuación se describen las geoformas de origen fluvial.

2.2.14 Abanico fluviotorrencial (Faa)

Caracterizado por una superficie en forma de cono, de laderas cóncavas a convexas, de dimensiones kilométricas y morfología plana, aterrazada, que se forman en lugares donde una corriente desemboca en una zona plana. Su origen está asociado a procesos de acumulación torrencial y fluvial en donde los depósitos aluviales se depositan radialmente desde el ápice del abanico (localizado en la salida de la corriente de las montañas). Representa el 0,19% del área total de la plancha. (Figura 22).

Los procesos de movimientos en masa no se ven asociados a esta geoforma debido a su intensa actividad erosiva aluvial (surcos y cárcavas profundas) a la cual se debe su formación.

Figura 22. Vista NNO. Abanico Fluviotorrencial, con pendiente entre 8° y 14°, compuesto por material detrítico, material tipo suelo de tonos amarillentos pálidos, con algunas gravas, sobre el que se localiza el Municipio de Capitanejo La línea blanca delimita diferentes unidades geomorfológicas.

Se encuentra asociado a depósitos aluviales de edades cuaternarias sobre el margen oriental del río Chicamocha en el casco urbano del Municipio de Capitanejo (Departamento de Santander), donde observamos la Falla del río Chicamocha la cual se encuentra estrechamente relacionada con la Falla de Bucaramanga.

2.2.15 Cauce aluvial (Fca)

Canal de forma irregular que ha sido excavado por corrientes constantes, dentro de sedimentos aluviales y que dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Representa el 0,34% del área total de la plancha. (Figura 23).

Esta unidad se relaciona con los principales ríos que drenan el área de la Plancha 136-Málaga, entre los cuales encontramos el río Chicamocha (el cual va siguiendo la Falla de Bucaramanga en la parte de su trayectoria) y su importante afluente, el río Servitá.

Figura 23. Cauce aluvial (Fca) del río Chicamocha. Entrada a Capitanejo.

2.2.16 Cono de deyección (Fcdy)

Superficie que en vista de planta presenta forma de cono en planta, con una inclinación variable de 5° a 10° , con decenas de metros de extensión, ubicados en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios (Figura 26). Se constituyen típicamente de tierras, arena y grava, de forma tal que los materiales más gruesos se localizan hacia el ápice en la zona de salida y los más finos en la zona distal. Abarcan depósitos aluviales recientes sobre los márgenes del río Chicamocha en los límites del Municipio de Capitanejo (Departamento de Santander) hacia el norte de la plancha. Representa el 0,98% del área total de la plancha.

2.2.17 Planicie aluvial confinada (Fpac)

Franja plana de terreno, estrecha y eventualmente inundable que presenta en corte transversal forma de U. Esta unidad se encuentra limitada por otras geoformas con mayor prominencia topográfica. Representa el 0,12% del área total de la plancha. (Figura 24).

Se genera por el estrangulamiento o estrechamiento de un cauce fluvial. En la zona, esta unidad se encuentra asociada a materiales aluviales del Cuaternario; en cercanías del río El Guamo y la quebrada La Miel.

Figura 24. Sombreada en celeste se presenta una Planicie Aluvial Confinada (Fpac). Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.2.18 Plano o llanura de inundación (Fpi)

Franja de terreno plana, de morfología baja y ondulada, eventualmente inundable. Se presenta bordeando los cauces fluviales y se limita localmente por escarpes de terraza. Se incluyen los planos fluviales menores en formas de “V” y conos coluviales menores, localizados en los flancos de los valles intramontanos. Representa el 1,72% del área total de la plancha. (Figura 26).

En regiones montañosas donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas que se caracterizan por conformar una red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad. Algunas veces de esta superficie sobresalen pequeñas colinas producto de la erosión laminar y acumulación de sedimentos. Estas geoformas en la zona también se pueden presentar controladas principalmente por estructuras sinclinales.

La constituyen materiales finos producto de la sedimentación durante eventos de inundación fluvial. La unidad se define en los alrededores del Municipio de

Mogotes, donde su extensión es considerable, aumentando su área hacia la parte oeste. Esta unidad se encuentra asociada a los ríos Servitá y Chicamocha.

2.2.19 Terrazas de acumulación (Fta)

Representadas por planos elongados de morfología plana a suavemente ondulada y modelada sobre sedimentos aluviales, que se presentan en forma pareada a lo largo del cauce del río al cual limitan, exhibiendo a su vez escarpes de diferentes alturas. Representa el 0,33% del área total de la plancha.

Su origen está relacionado con procesos de erosión y acumulación aluvial dentro de antiguas llanuras de inundación, por donde fluye una corriente. Esta unidad se caracteriza por presentar baja intensidad de movimientos en masa, siendo las reptaciones el tipo más común, encontrándose en áreas de hasta 30 m x 30 m.

Esta unidad se encuentra localizada en el Municipio de Mogotes (Departamento de Santander) en la zona de viviendas, asociada a depósitos recientes. (Figura 25).

Figura 25. Vista NO. Terraza de acumulación (Fta); resaltan sus bajas pendientes acompañadas de una forma de ladera llana o rectilínea, con presencia de algunas ondulaciones; (Municipio Mogotes, Santander). La línea blanca delimita la unidad geomorfológica.

2.2.20 Escarpe terraza de acumulación (Ftae)

Plano subvertical, que se encuentra excavado en sedimentos aluviales, limitando las terrazas de acumulación. Se origina a causa de la incisión y profundización del cauce. Representa el 0,01% del área total de la plancha. (Figura 26).

Esta unidad se encuentra cerca al río Servitá en los límites del Municipio de Concepción (Departamento de Santander) hacia la parte norte de la plancha, asociada a materiales aluviales del cuaternario

2.2.21 Terraza de acumulación sub-reciente (Ftas)

Esta unidad se encuentra a modo de superficies suavemente inclinadas que corresponden a remanentes de terrazas de acumulación. Presentan morfología ondulada, y suelen encontrarse disectadas y basculadas, limitadas por escarpes de 5 a 20 m de altura. Su origen está asociado a la ampliación del valle fluvial y a la profundización del mismo a causa de la erosión, lo que causa que con el paso del tiempo las márgenes de dicho río presenten una morfología escalonada, en donde se define la terraza (Figura 26). Puede estar cubierta por niveles arcillosos que conforman suelos recientes de origen fluvial. Típicamente compuestas por arenas y arcillas, con intercalaciones locales de arenas arcillosas y grava fina. Representa el 0,08% del área total de la plancha.

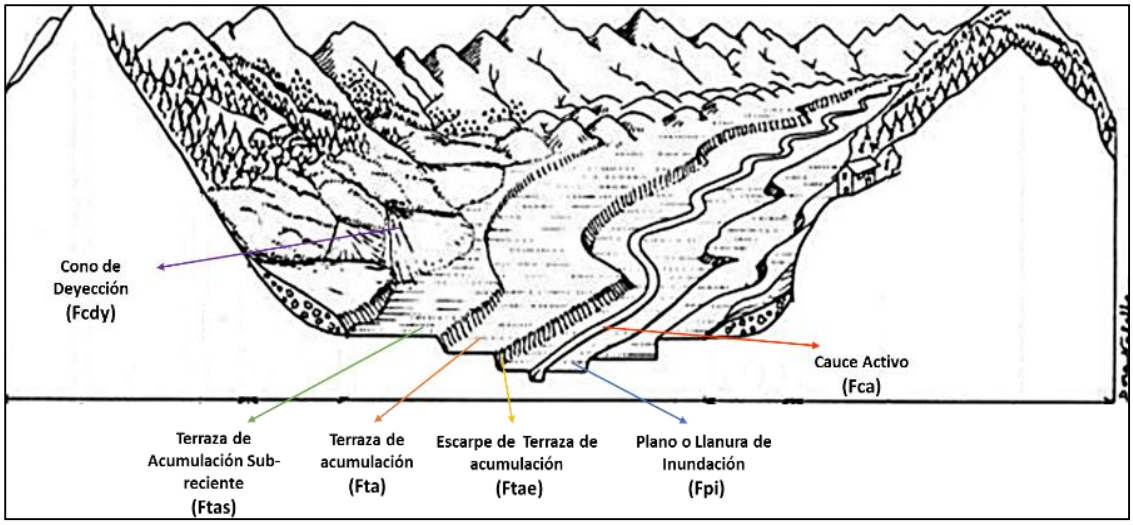


Figura 26. Esquema en donde se ilustran las geoformas asociadas a un sistema fluvial, tales como los Conos de Deyección (Fcdy), Terraza de Acumulación Sub-reciente (Ftas), Terraza de Acumulación (Ftae), Plano o Llanura de Inundación (Fpi) y Cauce Activo (Fca). Tomado y modificado de Zinck, 2012.

Unidad relacionada a materiales aluviales del Cuaternario asociados al río Chicamocha, hacia la parte norte del Municipio de Capitanejo (Santander).

2.3 GEOFORMAS DE ORIGEN GLACIAL Y PERIGLACIAL

Este ambiente agrupa todas aquellas geoformas cuyo origen está vinculado a los procesos erosivos que modelan el sustrato rocoso de forma característica y de depositación asociados a una masa glaciar. A continuación se describen las geoformas que se originaron en el ambiente glacial y periglacial.

2.3.1 Conos glaciofluviales (Gcgf)

Esta geoforma se caracteriza, además de su forma característica de cono, por exhibir longitudes corta a larga, de laderas rectas o convexas y con pendientes moderadamente inclinada constituidas de bloques angulares de varios metros de arista. Representa el 0,19% del área total de la plancha.

Su origen está asociado a corrientes torrenciales producto de deshielo de la parte más distal de una masa glacial. Se encuentra hacia el extremo sureste de la zona, en cercanías del Municipio de San Mateo (Boyacá), ver Figura 27.

Figura 27. Sombreado en amarillo se presenta un ejemplo de la unidad Conos Glaciofluviales (Gcgf), cerca del Municipio de San Mateo (Boyacá). Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.3.2 Cono y lóbulo de gelifracción (Gclg)

Unidad encontrada como lóbulos que presentan formas variables entre cóncavas y convexas, de longitud moderada y cuyo origen está relacionado a los procesos de congelamiento y deshielo periódicos que se presentan en zonas de alta saturación, en sectores glaciares y periglaciares. Representa el 0,04% del área total de la plancha.

Se localiza hacia la zona noreste de la plancha, cerca de la vereda Bábega, Municipio de Carcasí (Santander), asociada a depósitos coluviales del Cuaternario (Figura 28).

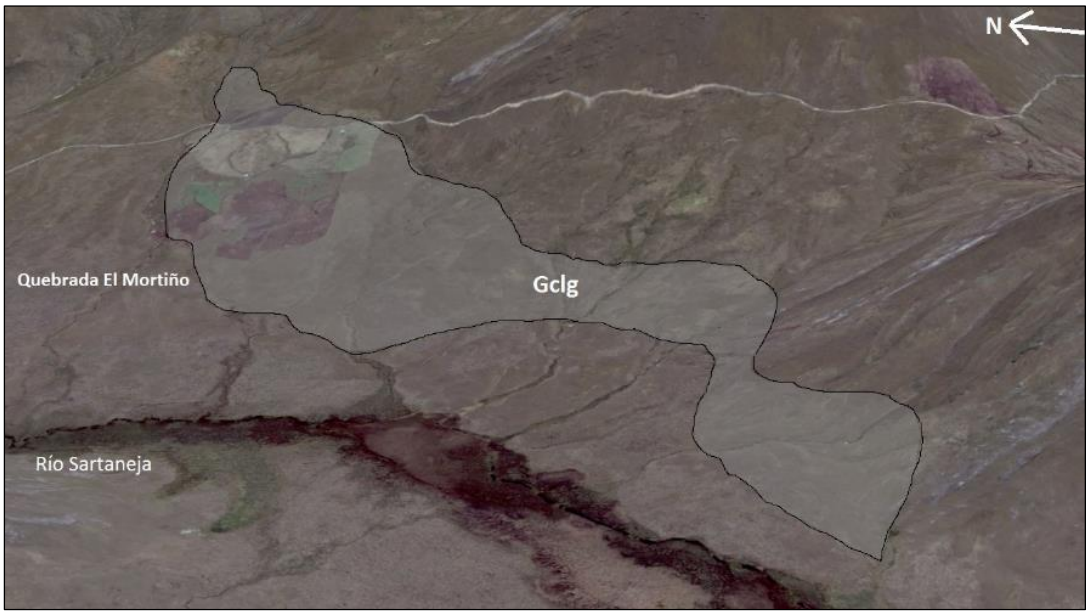


Figura 28. Unidad Cono y lóbulo de gelifracción (Gclg), localizada en la vereda Bábega (localidad La Reserva), Municipio de Carcasí. Imagen tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.3.3 Flancos de valle glaciar (Gflv)

Los flancos de valle glaciar corresponden a laderas cóncavas de pendientes abruptas, longitudes moderadamente largas, ubicadas sobre los bordes de valles glaciares y delimitan el trayecto que recorrió la lengua glacial, las cuales fueron originadas por procesos de exaración y por presiones ejercidas por las masas de hielo lateral sobre los flancos del valle inicial. Representa el 0,05% del área total de la plancha.

Se localiza principalmente hacia el sector noreste, en cercanías al Municipio de Carcasí. Su origen está asociado a procesos de abrasión glaciar y de presión lateral ejercida por la masa de hielo en los flancos del valle inicial (Figura 29).

Esta unidad se asocia a las rocas de la Formación Mirador y no se han desarrollado movimientos en masa.

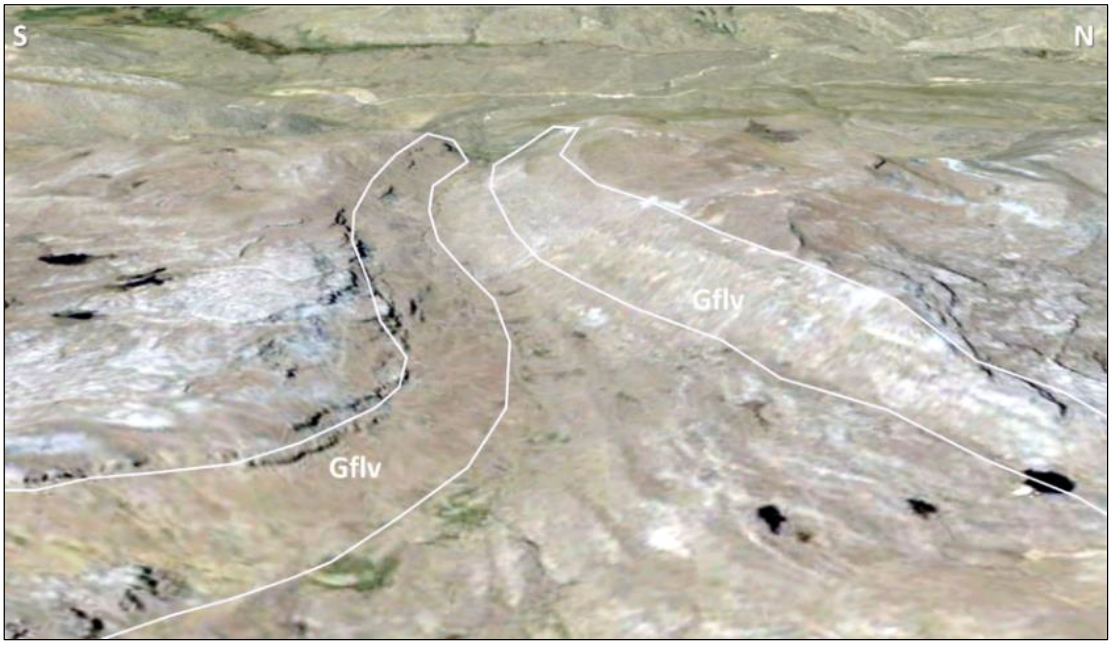


Figura 29. Unidad Geomorfológica Flancos de Valle Glaciar, en área rural del Municipio de Carcasí (Santander); las líneas blancas delimitan la geoforma. Imagen CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.3.4 Laguna glaciar (Glg)

Hace referencia a los cuerpos de agua encontrados en zonas montañosas glaciadas, principalmente a los que se ubican en la base de los circos glaciares aunque se incluyen también aquellos encontrados en las planicies glaciolacustrinas, así como los lagos formados en la parte trasera de las morrenas terminales. Representa el 0,004% del área total de la plancha.

En la zona de estudio estos cuerpos de agua son encontrados en el extremo noreste, en cercanías al Municipio de Carcasí, Departamento de Santander (Figura 30).

2.3.5 Plano y cono de sobrelavado glacial (Gpcs)

Planos suavemente inclinados de longitud corta y forma rectilínea, localizados más allá del margen glacial definido por las morrenas terminales. Se constituyen generalmente de arenas y gravas depositadas por corrientes generadas por deshielo. Los conos de sobrelavado glacial comprenden una serie de mantos de sedimento en forma de abanico de extensión kilométrica y suave inclinación.

Se encuentra en depósitos cuaternarios glaciales recientes, al noreste de la plancha en el Municipio de Carcasí. Representa el 0,37% del área total de la plancha. (Departamento de Santander). Figura 31.

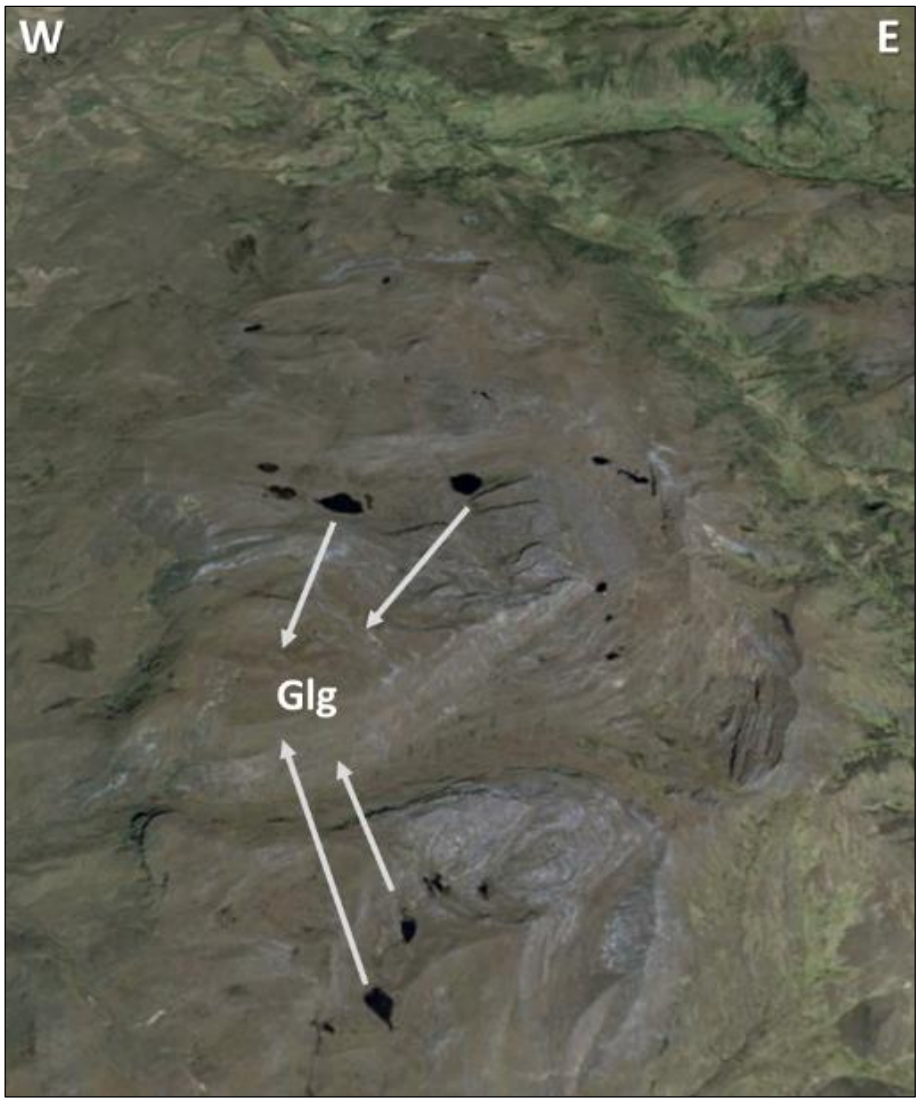


Figura 30. Imagen de Lagunas glaciares (Glg), localizadas en el extremo noreste de la plancha (Municipios de Concepción y Carcasí). Imagen CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

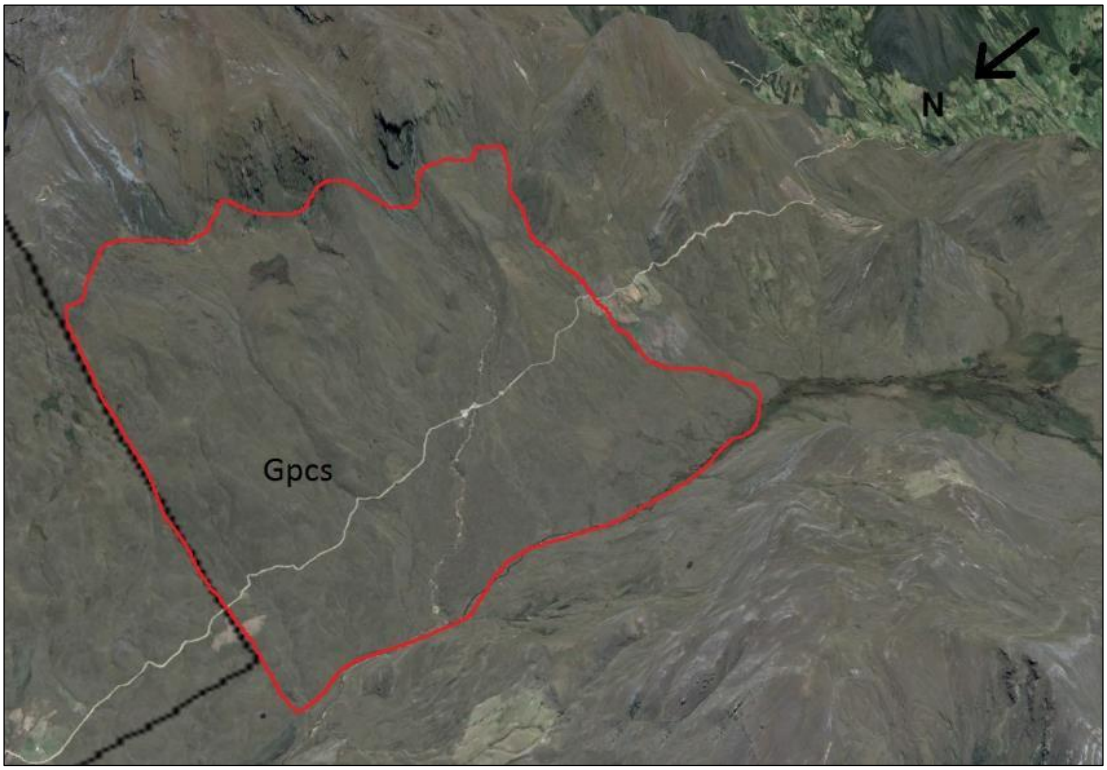


Figura 31. Se visualiza un plano y cono de sobrelavado glacial (Gpcs), delimitado con la línea roja, en cercanías del Municipio de Carcasí. Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.3.6 Plano glaciolacustrino (Gpgl)

Plano o ladera de suave pendiente, formadas por deposición de sedimentos en lagos y zonas marginales de un glaciar. Se constituyen de materiales finos (limos y arcillas), localmente arenas y gravas traídas por corrientes producto del deshielo. Representa el 0,18% del área total de la plancha.

Esta unidad se encuentra relacionada con lagunas y zonas pantanosas de origen glaciar, donde predominan los procesos de acumulación y transporte glaciar, los procesos de movimientos en masa del tipo deslizamientos rotacionales no son comunes debido a las pendientes muy bajas presentes las cuales poseen resistencias considerables al movimiento.

Se ubica en cercanías del Municipio de Carcasí, esta geoforma se asocia a rocas de las formaciones Los Cuervos y Barco del Paleógeno. No está muy ampliamente distribuida en la zona y presenta una extensión inferior a 4 Km^2. (Figura 32).

Figura 32. Vista NE. Plano Glaciolacustrino, presenta pendientes suaves con formas onduladas, con presencia de bloques errantes de tamaños inferiores a 1 m. Además presenta un valle en U, asociado a movimientos glaciares. Concepción, Santander.

2.3.7 Sierra anticlinal glaciada (Gsag)

Sierra elongada de morfología montañosa o colinada de cimas o crestas agudas o redondeadas, que siguen el eje anticlinal formado por el arqueamiento o combadura de los estratos o capas que se inclinan divergentemente a partir de su eje (Figura 32, Figura 33).

Su origen se asocia al desmantelamiento por erosión glacial y periglacial de los estratos blandos de la cima dejando localmente depresiones de exaración, circos glaciales y de nivación manifiesta como concavidades poco desarrolladas. En material Paleógeno de las formaciones Los Cuervos, Barco y Mirador; en los alrededores del Municipio de Carcasí (Departamento de Santander). Representa el 1,06% del área total de la plancha.

2.3.8 Ladera estructural de sierra anticlinal glaciada (Gsale)

Esta unidad está compuesta por laderas de longitudes cortas a extremadamente largas, de formas convexas a rectas y con pendientes abruptas a muy abruptas

cuyas capas se encuentran dispuestas en la misma dirección de la pendiente del terreno (Figura 32, Figura 33).

Figura 33. Se visualizan las unidades geomorfológicas Ladera Estructural de Sierra Anticlinal Glaciada (Gsale) y Sierra Anticlinal Glaciada (Gsag), ubicada hacia la salida del Municipio de Concepción (Departamento de Santander), al este de la plancha.

Se constituyen de rocas competentes afectadas por procesos de gelifracción y extracción (plucking). Es posible encontrar esta unidad en los límites del Municipio de Carcasí (Departamento de Santander) en la Formación Barco del Paleógeno, la cual está principalmente conformada por areniscas blancas cuarzosas. Representa el 0,1% del área total de la plancha.

2.3.9 Sierra homoclinal glaciada (Gshg)

Sierra simétrica de morfología elongada y montañosa en donde se observan cimas agudas. Se configuran a causa de una secuencia de estratos inclinados siguiendo una misma dirección a causa de intensos procesos tectónicos, que posteriormente ha sido afectada por procesos glaciares y periglaciares. Representa el 1,49% del área total de la plancha. (Figura 34).

La distribución de esta geoforma en la zona de estudio es limitada, encontrándose exclusivamente hacia la parte noreste de la zona de estudio, en territorio del Municipio de Carcasí, Departamento de Santander.

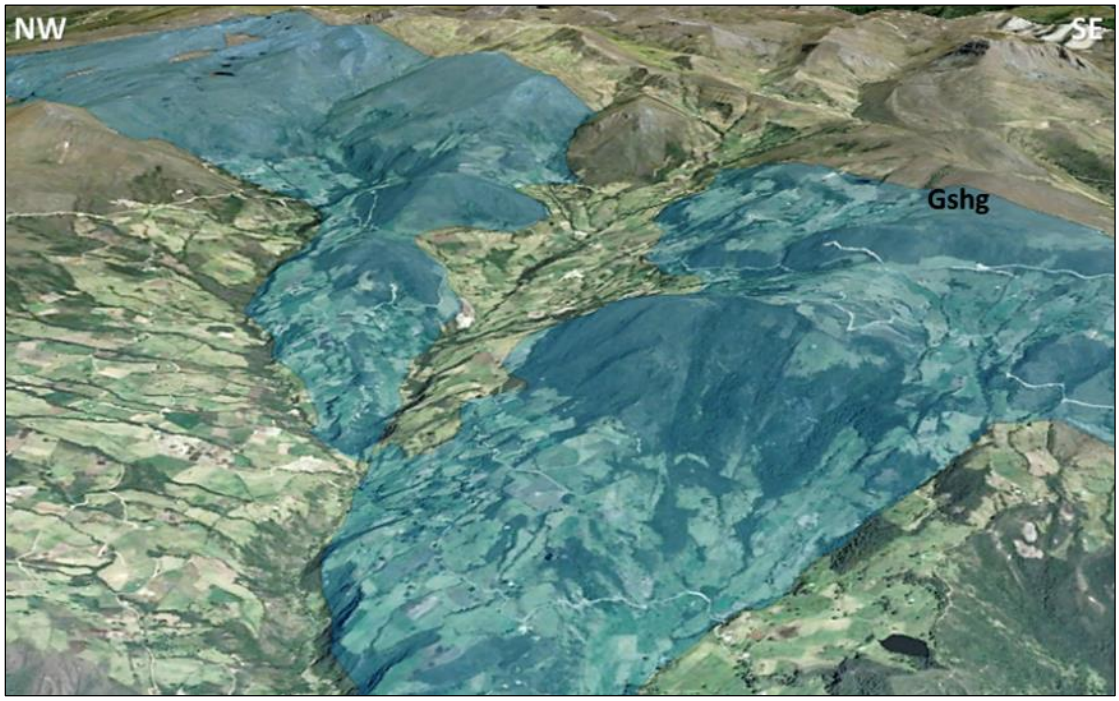


Figura 34. Sierra Homoclinal Glaciada (Gshg), sombreada en azul; localizada hacia el extremo noreste de la zona de estudio. Imágenes Landsat y CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.4 GEOFORMAS DE ORIGEN MORFOESTRUCTURAL

En este ambiente se incluyen todas aquellas geoformas que han sido originadas por la acción de la dinámica interna de la tierra, particularmente por la acción del plegamiento y fracturamiento (fallas y diaclasas tectónicas) que construyen y dan forma al relieve.

2.4.1 Cuesta (Sc)

Sierra elongada, de morfología colinada y que se define por un suave basculamiento de los estratos que la conforman. Su origen está relacionado a incisión o fallamiento perpendicular respecto al buzamiento de las capas. Representa el 3,7% del área total de la plancha. Figura 37.

Es posible encontrar esta unidad en las veredas Pantano Grande, Pescadero, Calichal, Pescaderito, Buenavista, Barzal, San Luis, Guásimo, Tierra Blanca, pertenecientes al Municipio de Málaga; y Yerbabuena Tierra Blanca, Tequía, Versalles, Lucusguta, El Espinal, Popagá, El Pozo, Sagamal, Cucharo, Salado Bravo y La Carbonera de San José de Miranda. Involucra un amplio conjunto de unidades litológicas cuyas edades van desde el Cretácico Inferior (Formación Río Negro) hasta el Paleógeno (Formación Carbonera)

Asociados a esta geoforma se pueden encontrar movimientos en masa predominantemente de tipo deslizamiento rotacional, sin embargo también es posible encontrar reptaciones y deslizamientos traslacionales, en donde el material afectado típico es la tierra.

2.4.2 Cerro estructural (Sce)

Corresponde a una prominencia topográfica aislada de morfología montañosa o colinda debido a procesos de fallamiento. Esta geoforma exhibe laderas cortas a moderadamente cortas, con pendientes que varían de muy abruptas a escarpadas y de formas cóncava o irregular. Representa el 0,03% del área total de la plancha. (Figura 35).

En el área e interés esta unidad geomorfológica se presenta principalmente hacia el costado noreste, en cercanía al Municipio de Carcasí, Departamento de Santander.

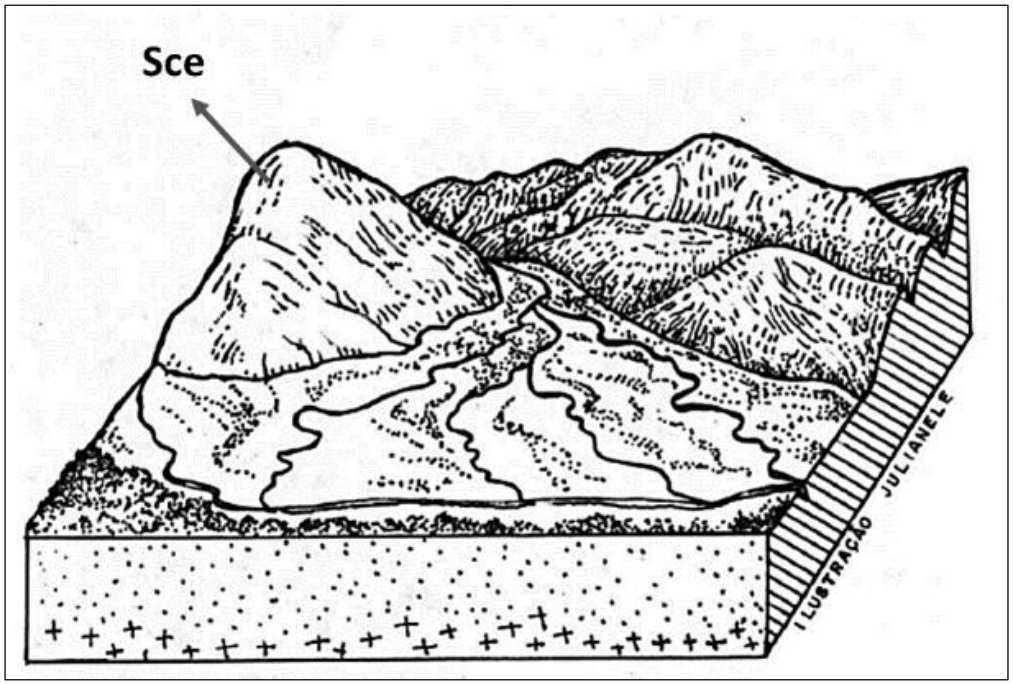


Figura 35. Esquema ilustrativo en donde se representa la unidad geomorfológica Cerro estructural (Sce). Tomado y adaptado de De Almeida *et al*., 1995.

2.4.3 Ladera de contrapendiente de cuesta (Sclc)

Ladera de cuesta estructural, generalmente denudada, en donde los planos estructurales se encuentran dispuestos en contra de la pendiente del terreno; de longitud corta, forma cóncava y pendientes escarpadas (Figura 36).

En general esta unidad se encuentra constituida por intercalaciones de rocas duras a intermedias de origen ígneo y metamórfico, con desarrollo de drenaje dendrítico subparalelo, localmente denso, asociado a procesos coluviales. En la zona de estudio se localiza entre los municipios de San Joaquín y Mogotes, relacionada a rocas de la Formación Floresta (Devónico), Silgará (Ordovícico) y la Cuarzomonzonita (Jurásico). Representa el 0,3% del área total de la plancha.

2.4.4 Ladera estructural de cuesta (Scle)

Ladera de cuesta estructural, generalmente denudada, en donde los planos estructurales se encuentran dispuestos a favor de la pendiente del terreno, de longitud larga, forma recta a irregular y pendientes variables, de inclinadas a muy inclinadas. Representa el 1,05% del área total de la plancha. (Figura 36).

Geoforma constituida por rocas intermedias a duras, con desarrollo local de suelos residuales delgados, en los que se presentan procesos locales de reptación con áreas de 30 m x 40 m aproximadamente. Se observa el desarrollo de un patrón de drenaje subparalelo espaciado. La distribución de esta unidad dentro de la Plancha 136-Málaga es muy pobre encontrándose hacia la parte sur del Municipio de Mogotes (Departamento de Santander), asociado la Formación Floresta del Devónico y la Cuarzomonzonita del Jurásico.

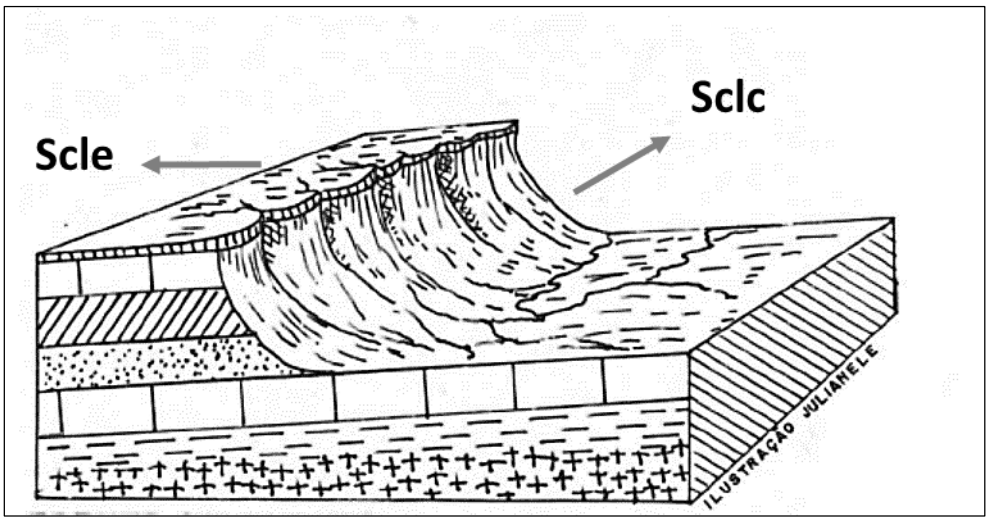


Figura 36. Diagrama Ilustrativo que representa las unidades geomorfológicas Ladera Estructural de Cuesta (Scle) y Ladera de Contrapendiente de cuesta (Sclc). Tomado y Modificado de De Almeida *et al*., 1995.

2.4.5 Cornisa estructural (Scor)

Saliente estructural u hombrera rocosa, de morfología alomada o tabular, suavemente inclinada, que se presenta colgada a manera de repisa en laderas

generalmente irregulares o escalonadas de contrapendiente. Su origen se debe a erosión diferencial pluvial de rocas duras y blandas (Figura 37).

La unidad se define cerca de los municipios de Málaga, San José de Miranda y Enciso (Departamento de Santander), sobre la Formación Tibú – Mercedes y Rio Negro, en las cuales predominan las calizas fosilíferas y areniscas. Fue definida con base a fotointerpretación de imágenes Landsat, mapa de sombras, Google Earth y mapa de pendientes, así como el análisis de la variable suelos determinada para esta zona. Representa el 0,22% del área total de la plancha.

2.4.6 Espolón faceteado (Sefc)

Saliente natural que en conjunto conforman sierras colinadas de pendientes inclinadas a abrupta. Se desprenden de estructuras mayores las cuales se relacionan a procesos de plegamiento, fallamiento y erosión diferencial sobre rocas de distinta competencia (Figura 38).

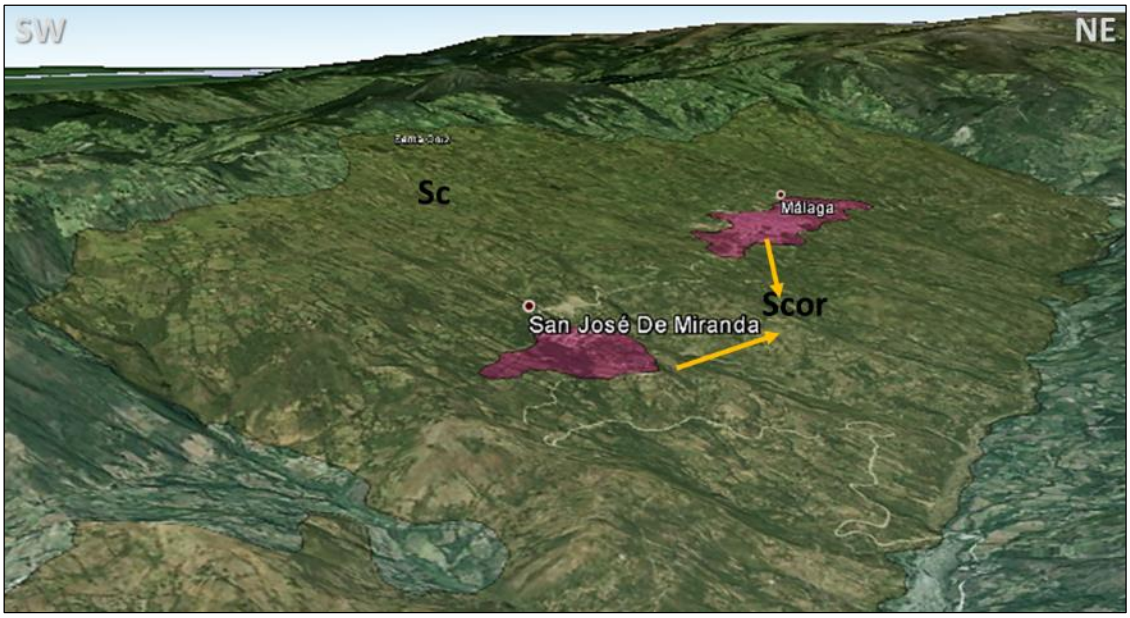


Figura 37. Sombreado en amarillo se muestra la unidad Cuesta (Sc) y en magenta Cornisa Estructural (Scor). Sobre esta última unidad se asientan los municipios de Málaga y San José de Miranda (Departamento de Santander). Imágenes Landsat y CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

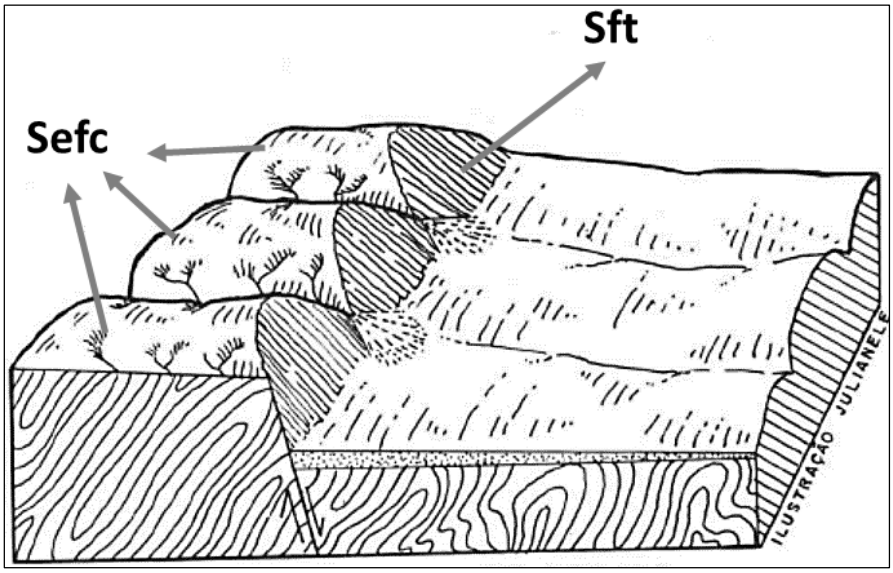


Figura 38. Diagrama Ilustrativo que representa las unidades geomorfológicas Espolón Faceteado (Sefc) y Faceta Triangular (Sft). Modificado de De Almeida *et al*., 1995.

Se origina por fallamiento inverso y de rumbo que generan truncamientos a manera de facetas triangulares. Se localiza cerca al Municipio de San Joaquín (Santander), donde se observan las mayores dimensiones de esta geoforma, la cual se asocia a rocas de la Formación Silgará (Ordovícico) y la Cuarzomonzonita (Jurásico). Representa el 0,75% del área total de la plancha.

2.4.7 Espolón faceteado moderado de longitud larga (Sefcml)

Conjunto de salientes naturales que conforman sierras de morfología colinada, que suelen estar asociadas a estructuras mayores. Se originan a causa de fallamiento inverso y de rumbo que generan truncamientos (facetas) de forma triangular. Su relieve relativo varía entre 250 m y 1000 m, y la longitud del espolón suele ser mayor a los 1000 m. La faceta triangular que se encuentra en la punta del espolón, a pesar de corresponder a su vez con una unidad geomorfológica no es cartografiada, puesto que no cumple con el área mínima requerida para la escala de trabajo. Representa el 0,33% del área total de la plancha.

Es posible encontrarla en el sector sur del área de interés, en territorio del Municipio de San Joaquín (Departamento de Santander), específicamente en la vereda San Cayetano; conformada por rocas de la Cuarzomonzonita, del Jurásico. Figura 39.

Figura 39. Sombreado se muestra la unidad Espolón faceteado moderado de longitud larga (Sefcml), localizado al nororiente del Municipio San Joaquín (Santander) Imágenes Landsat y CNES/Astrium, tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.4.8 Espolón festoneado (Sefes)

Conjunto de salientes que conforman laderas y crestas, de morfología alomada y cimas erosionadas, lo que les da aspecto redondeado, cuyas laderas presentan formas que varían entre rectilíneas y cóncavas, donde predominan las pendientes inclinadas a muy abruptas. Se presentan de forma perpendicular al trazo de las estructuras geológicas presentes en la zona, en donde se encuentran asociados a una falla local que sigue una dirección NE-SW, razón por la cual su orientación sigue un plano NW-SE. Su origen esta principalmente asociado a la acción de fallamiento transpresivo (Figura 40).

Esta unidad se encuentra vinculada a las rocas de la Cuarzomonzonita, de edad jurásica, en las veredas Colmenitas Alto, La Mesa (Municipio de Curití, Departamento de Santander) y Las Palmas (Municipio de Mogotes, Departamento de Santander). Representa el 0,32% del área total de la plancha.

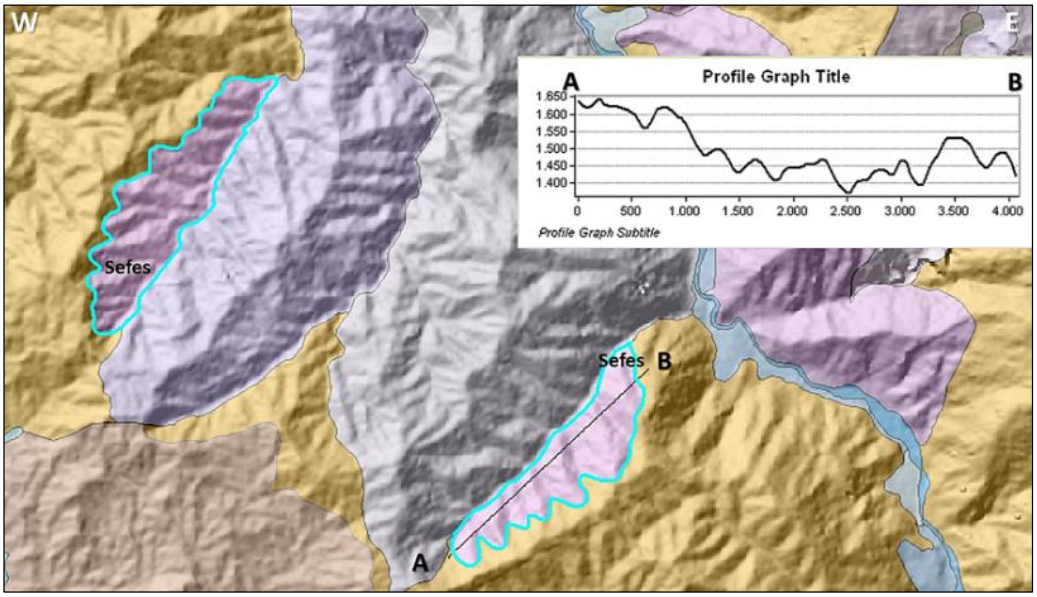


Figura 40. Delineada por la línea celeste se muestra la unidad Espolón Festoneado (Sefes) como se ve en el Mapa de Unidades Geomorfológicas sobrepuesto al mapa de pendientes. Al lado derecho se muestra un corte realizado en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica de la unidad geomorfológica. La línea negra sobre la unidad representa la línea de corte.

2.4.9 Espolón (Ses)

Saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural de la zona. Típicamente se encuentran limitados por drenajes paralelos a subparalelos, presentando laderas de longitudes variables y pendientes entre inclinadas a abruptas, afectadas por intensos procesos denudativos (Figura 41).

Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida, por lo que se asocia a rocas que van desde el pre-Devónico, como el Ortoneis y la Formación Floresta hasta la Formación Los Cuervos del Paleógeno, y a un gran número de estructuras locales y regionales. Se encuentra en los municipios de San José de Miranda, San Joaquín, Capitanejo, Macaravita (Departamento de Santander) y Covarachía (Departamento de Boyacá). Representa el 3,69% del área total de la plancha.

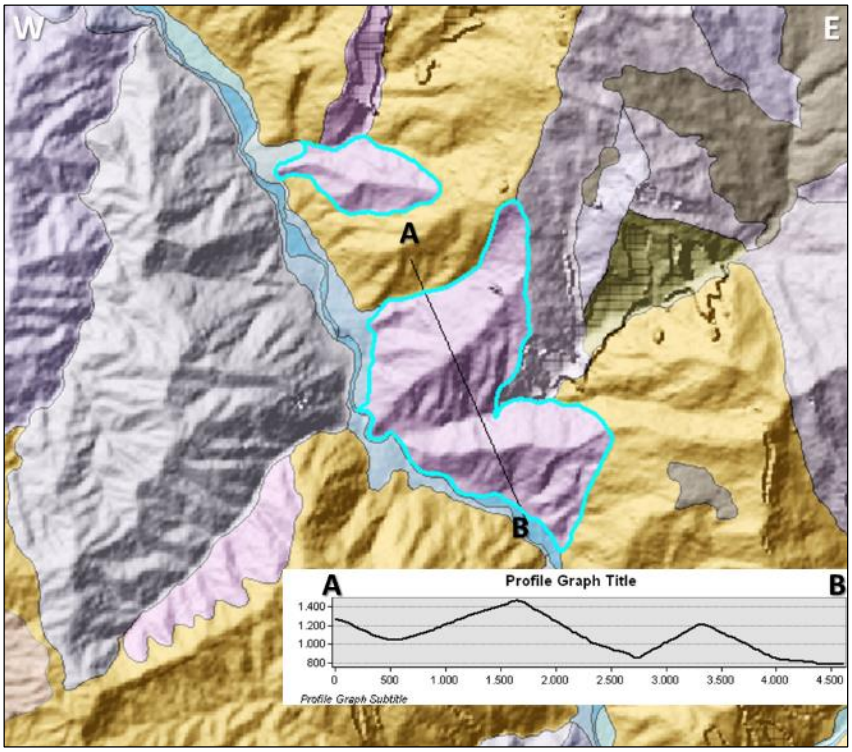


Figura 41. La línea celeste delimita la unidad Espolón (Ses) y se muestra un corte realizado en ArcMap (de ESRI) con la expresión topográfica de la unidad geomorfológica. La línea negra sobre la unidad representa la línea de corte.

2.4.10 Espolón moderado de longitud media (Sesmm)

Se define como una saliente de morfología alomada en disposición perpendicular a la tendencia estructural de la zona; suele encontrarse limitada por drenajes paralelos a subparalelos. Su índice de relieve varía entre 250 m y 1000 m, mientras que su longitud se encuentra en un rango de 250m a 1000m. La longitud, forma y pendiente de las laderas de esta geoforma son variables, ya que son afectadas por intensos procesos denudativos y erosivos. Representa el 0,16% del área total de la plancha. (Figura 42).

En la zona esta unidad se encuentra vinculada a las rocas de la Formación floresta del devónico, presentándose hacia la parte sur de la plancha, en la vereda San José del Municipio de Mogotes, Departamento de Santander

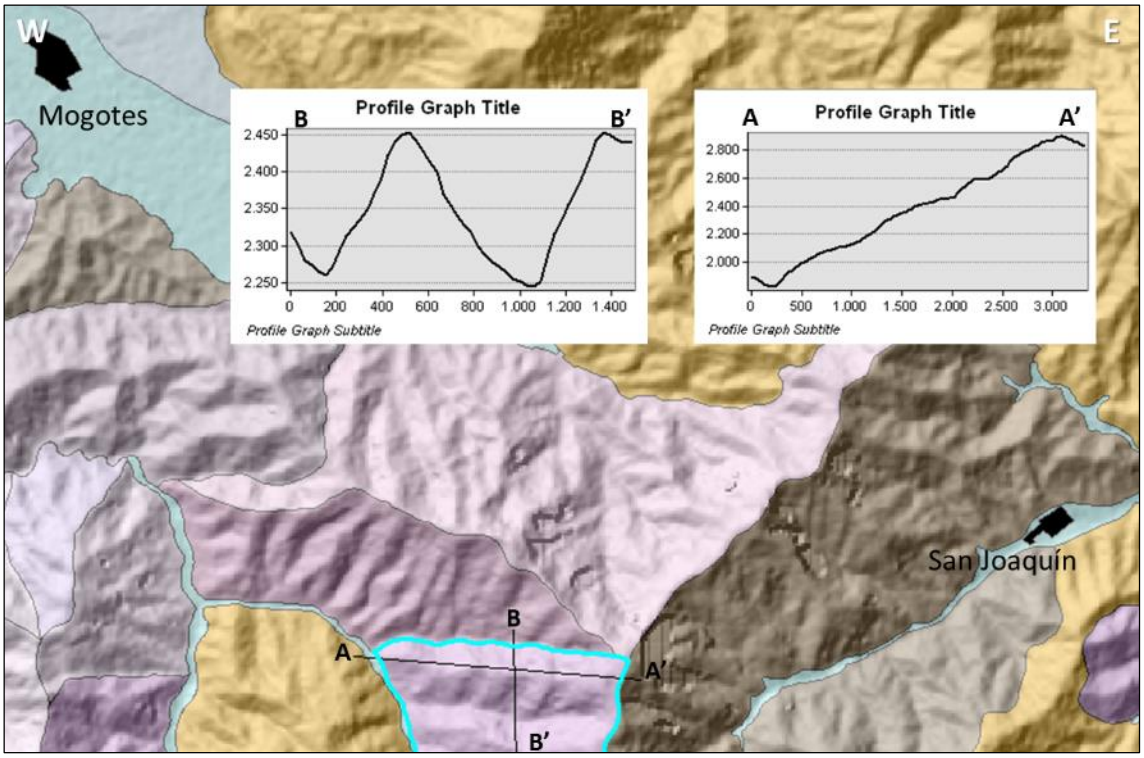


Figura 42. Delineada por la línea celeste se muestra la unidad Espolón Moderado de Longitud Media (Sesmm). Se muestran los cortes A-A' y B-B' realizados en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica de la unidad geomorfológica. Modificado del Mapa de Unidades Geomorfológicas sobrepuesto al mapa de pendientes.

2.4.11 Faceta triangular (Sft)

En zonas donde se observa un alto grado de fallamiento se puede producir el desplazamiento y consecuente truncamiento de relieves estructurales, los cuales sufren un posterior proceso de erosión diferencial. Este tipo de eventos son los que dan lugar a la formación de planos sub-verticales abruptos, relativamente rectos, que en vista frontal presentan una forma triangular a trapezoidal (base amplia y punta relativamente angosta), a los que se les asigna el nombre de la unidad geomorfológica facetas triangulares. En la zona, la base de estas geoformas se encuentra principalmente de forma paralela al trazo del río Chicamocha, en la parte donde va siguiendo al Sistema de Falla de Bucaramanga. Representa el 0,63% del área total de la plancha.

Si bien esta unidad no llega a alcanzar áreas muy grandes. Se encuentra ampliamente distribuida en la zona oeste de la plancha 136, encontrándose en alrededores del Municipio de Covarachía (Departamento de Boyacá) y en las veredas Cantavara (Municipio de Aratoca), El Basto (Municipio de Curití), Chorrera, Perico (Municipio de Cepitá), Vega de Infantes (Municipio de

Molagavita) y San Roque (Municipio de San Joaquín), todas ellas pertenecientes al Departamento de Santander (Figura 43).

En esta geoforma no es común encontrar movimientos en masa, observándose en algunos casos movimientos tipo flujos.

Figura 43. Faceta triangular (Sft), localizada en el Municipio de Covarachía, Departamento de Boyacá; imágenes Digital Globe, CNES/Astrium y U.S Geological Survey (1/10/2014). Tomado y adaptado de Google Earth, 2014.

2.4.12 Gancho de flexión (Sgf)

Espolón estructural de morfología alomada, que en vista de planta exhibe forma de gancho. Su origen se asocia a la acción del desplazamiento lateral a lo largo de una falla de rumbo y a una posterior incisión erosiva (Figura 44).

Esta unidad se encuentra relacionada principalmente a las rocas de Formación Silgará, Cuarzomonzonita y Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, entre otras unidades minoritarias. Principalmente se ubica a los costados del río Chicamocha, el cual va siguiendo el trazo de la Falla de Bucaramanga, en los municipios de Cepitá (Departamento de Santander) y Covarachía (Departamento de Boyacá). Representa el 1,87% del área total de la plancha.

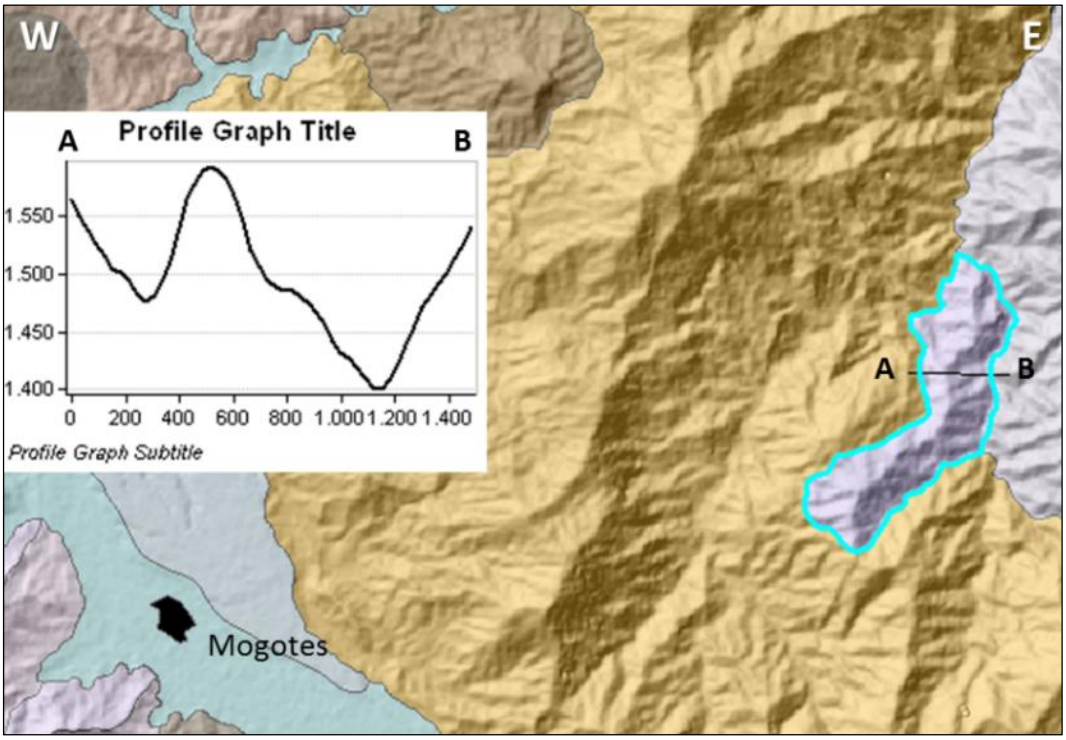


Figura 44. Delineada por la línea celeste se muestra la unidad Gancho de Flexión (Sgf) como se ve en el Mapa de Unidades Geomorfológicas sobrepuesto al mapa de pendientes. Al lado izquierdo está el corte A-B, realizado en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica de la unidad geomorfológica.

2.4.13 Ladera estructural escalonada (Sles)

Presenta estratos en forma de escalón donde las pendientes son escarpadas y dispuestas en contra de la pendiente, con morfologías colinadas. Los procesos que generan estas geoformas están asociados a erosión diferencial por levantamiento de bloques o diferencia de resistencia entre litologías duras y blandas. La intensidad de los procesos de meteorización que se encuentran actuando sobre esta unidad es media, asociados a las zonas descubiertas o más levantadas, las cuales están parcialmente descubiertas. Representa el 0,69% del área total de la plancha.

Esta unidad se ubica entre los municipios de San Andrés y Cepitá (Departamento de Santander) asociada a las rocas de la Formación Silgará (Ordovícico), Granitos de pescadero y Cuarzomonzonita (Jurásico); ver Figura 45.

Figura 45. Vista SO. Ladera estructural escalonada, donde se observan intercalaciones de rocas duras y blandas de origen sedimentario, acompañada de pequeñas zonas de canales o valles asociados a escorrentía. La cobertura principal es de tipo matorrales. Concepción, Santander.

2.4.14 Lomo de falla (Slf)

Cerro elongado de morfología alomada, laderas cortas a muy cortas y forma convexa, con pendientes abruptas a escarpadas, localizados a lo largo de una falla de rumbo, y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y el plano de falla, que determinan la expulsión hacia arriba de un bloque de terreno con alto grado de fracturamiento y estructuras en forma de flor positiva.

La unidad se encuentra vinculada a rocas de la Formación Floresta, en una zona en donde se encuentran altamente fracturadas a causa de la acción de la Falla de Bucaramanga, en el límite de los municipios de San Joaquín y Covarachía. Representa el 0,78% del área total de la plancha. (Figura 46).

2.4.15 Escarpe de línea de falla (Slfe)

Escarpe cuya ladera es corta a muy corta, de pendiente abrupta, y forma variable entre cóncava y convexa, originado por erosión acentuada a lo largo de una línea de falla y por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas (Figura 47).

La unidad se observa en los alrededores del Municipio de Concepción (Santander), donde se resaltan los deslizamientos rotacionales de áreas inferiores a 20m x 20m, asociados a material detrítico residual. También es posible encontrar esta geoforma en los límites de los municipios de San Andrés y Molagavita (Santander), sobre rocas cretáceas de las formaciones Río Negro, Tibú – Mercedes, Aguardiente y La Luna. Representa el 1,1% del área total de la plancha.

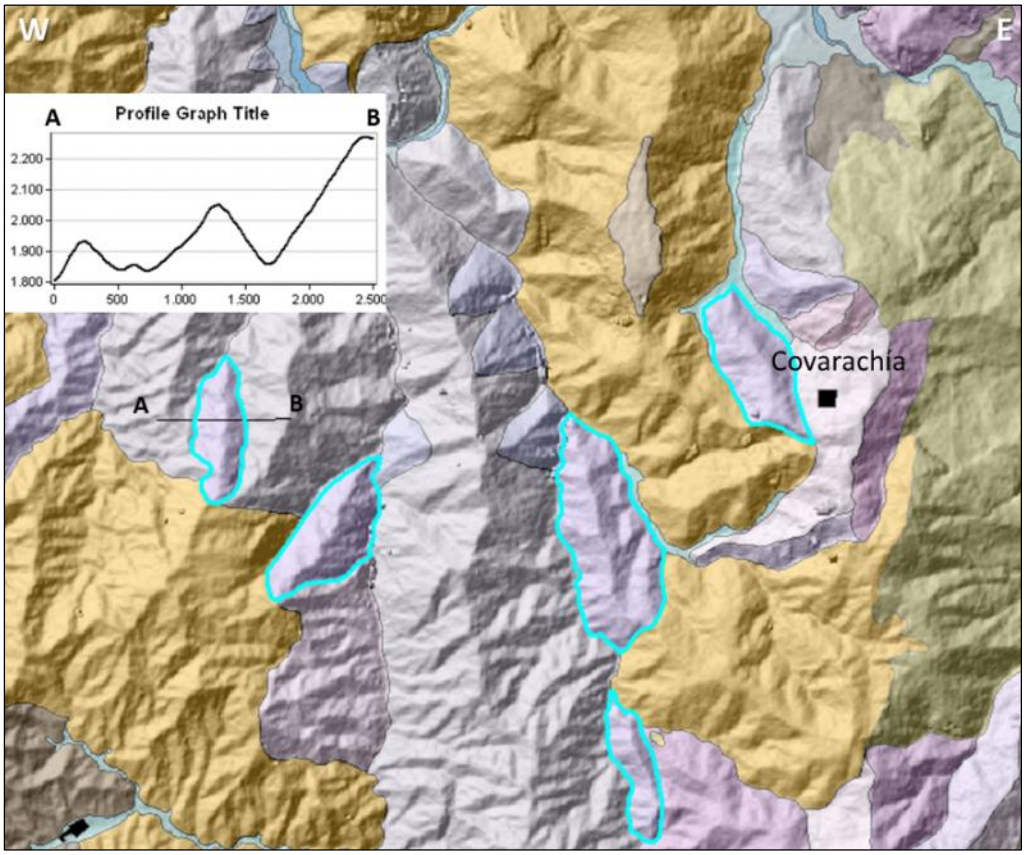


Figura 46. Se muestra la unidad Lomo de Falla (Slf), sobrepuesto al mapa de pendientes. Al lado izquierdo se muestra el corte A-B, realizado en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica de la unidad geomorfológica.

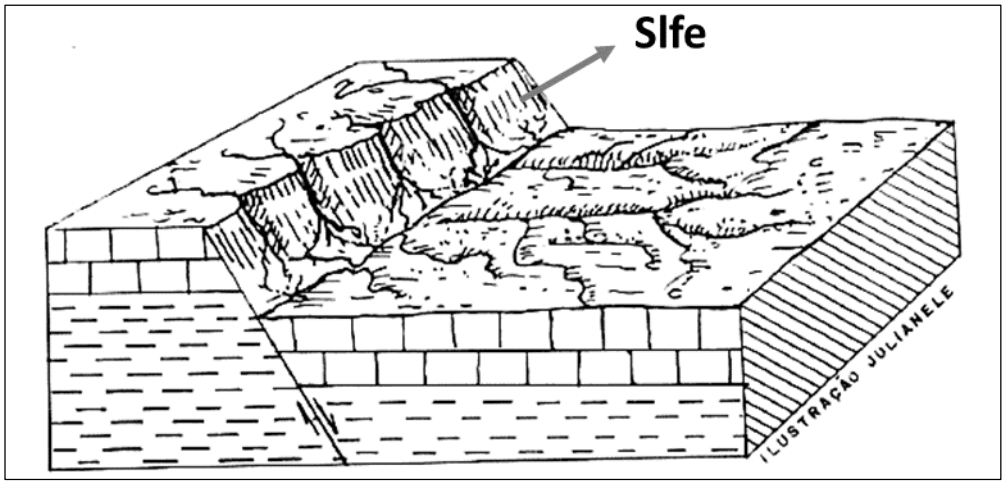


Figura 47. Esquema representativo de la unidad geomorfológica Escarpe de línea de falla (Slfe), tomado de De Almeida *et al*., 1995.

2.4.16 Lomo de obturación (Slo)

Prominencia topográfica de morfología alomada que ha sido desplazada lateralmente por fallamiento de rumbo y que ocasiona un bloqueo parcial o total de una corriente de agua (Figura 48).

La unidad se define en rocas de la Cuarzomonzonita del jurásico, encontrándose en el margen del río Chicamocha en el Municipio de San José de Miranda (Departamento de Santander). Representa el 0,12% del área total de la plancha.

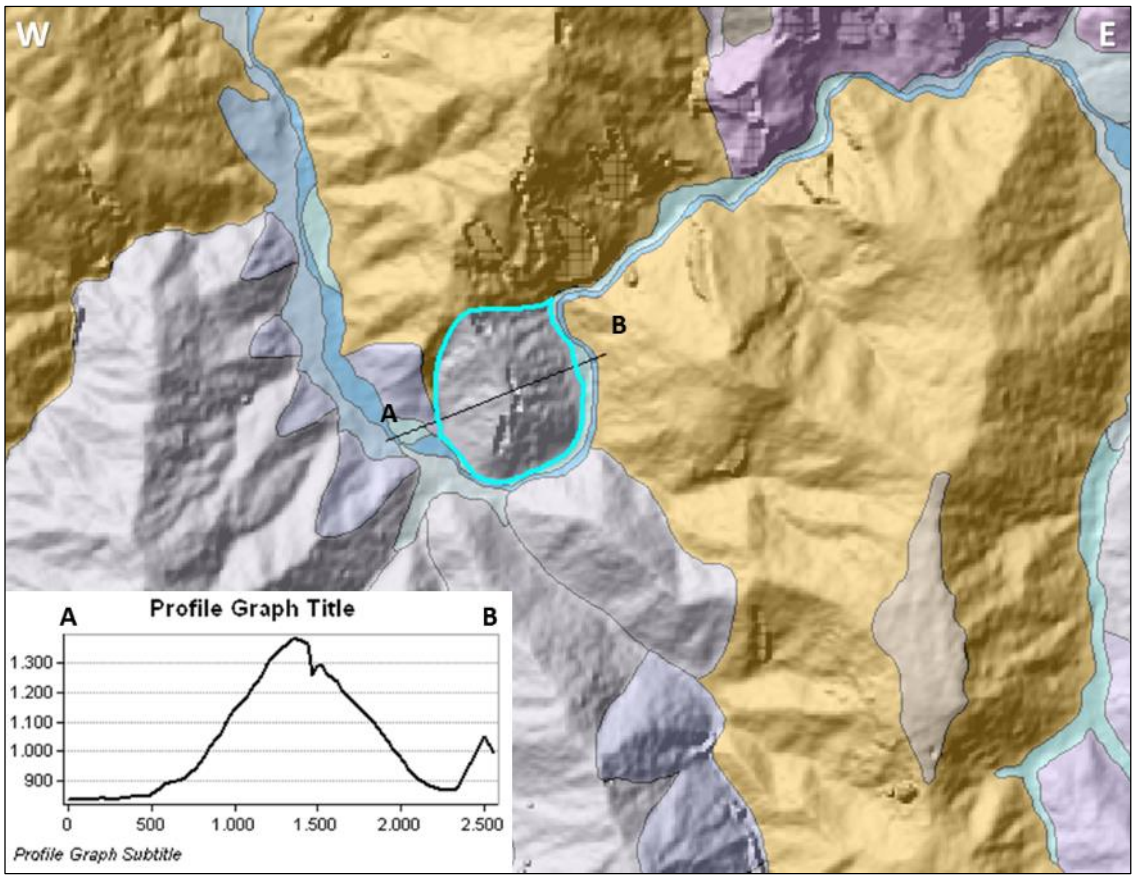


Figura 48. Trazada por la línea celeste se muestra la unidad geomorfológica Lomo de Obturación (Slo) sobrepuesto al mapa de pendientes. A la izquierda está el corte A-B, realizado en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica.

2.4.17 Escarpe de meseta (Sme)

Ladera de longitud corta a moderada, de pendientes inclinadas a escarpadas localmente escalonadas, las cuales se encuentran definidas por la horizontalidad de rocas duras en el tope y blandas hacia la base dispuestas en favor o en contra de la pendiente natural del terreno (Figura 49). Es producto de procesos de erosión diferencial pluvial en rocas del Cretácico de la Formación Tambor, en los

alrededores del Municipio de Mogotes en la parte oeste de la plancha. Representa el 0,01% del área total de la plancha.

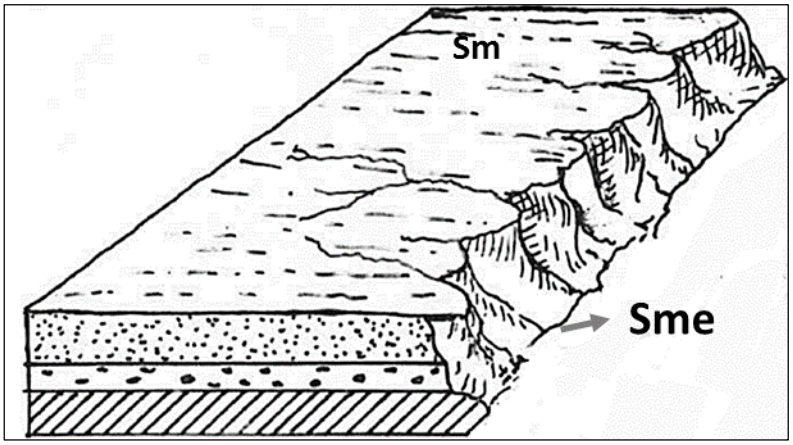


Figura 49. Esquema representativo de geoforma Escarpe de Meseta (Sme). Tomado y adaptado de De Almeida *et al*., 1995.

2.4.18 Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc)

Superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregular escalonada, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, desarrollada en la ladera estructural de una estructura anticlinal debido a la acción de procesos de erosión, meteorización o tectonismo. Se encuentra asociada a un pliegue tipo anticlinal, y se encuentra bien sea en los flancos de la estructura o en la zona de charnela de la misma; allí suelen encontrarse deslizamientos rotacionales en donde el material afectado es tierra, aunque no son comunes.

Esta unidad se encuentra hacia el extremo sureste de la Plancha 136-Málaga, en cercanías de la vereda Buraga, en zona rural del Municipio de Macaravita, Departamento de Santander; involucrando las rocas paleozoicas del Rio Nevado y rocas del Cretácico de las formaciones Tibú-Mercedes, Aguardiente, Capacho (o Chipaque) y La Luna. Representa el 0,39% del área total de la plancha. (Figura 50).

2.4.19 Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale)

Ladera de sierra anticlinal generalmente denudada, con estratos inclinados hacia la misma dirección de la pendiente del terreno, de longitudes cortas, formas convexas a rectas y con pendientes inclinadas a muy abruptas. La constituyen rocas de dureza alta a intermedia, generalmente de origen sedimentario y se observa desarrollo de patrones de drenaje subparalelo (Figura 51).

La unidad se localiza en los límites del Municipio de San Mateo (Boyacá), hacia la parte sureste de la plancha, en rocas de la Formación Tibú – Mercedes del Cretácico. Representa el 0,55% del área total de la plancha.

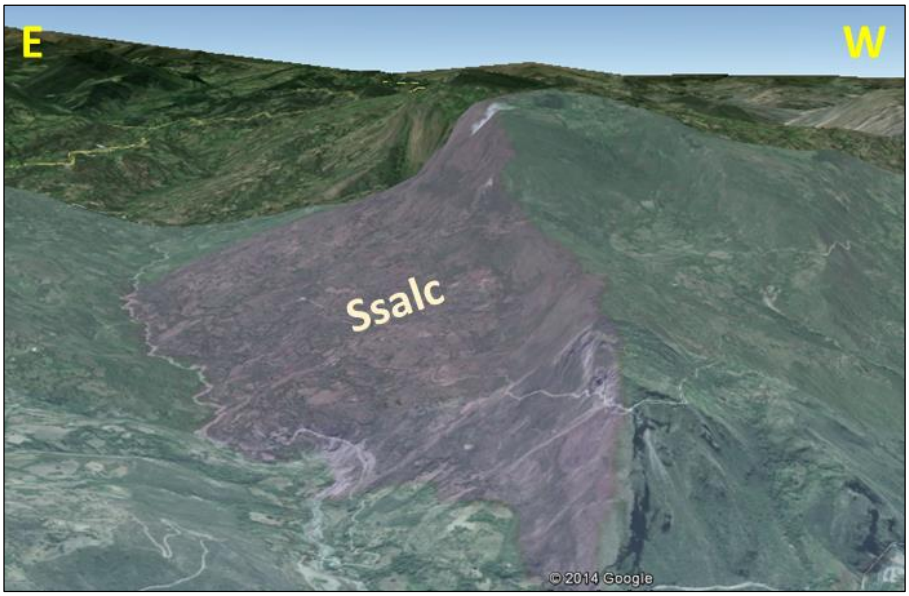


Figura 50. Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc), visto en la vereda Buraga, en zona rural del Municipio de Macaravita (Santander). Imágenes Digital Globe y CNES/Astrium (04/04/2013). Tomado y modificado de Google Earth, 2014.

Figura 51. Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale), encontrada hacia los límites del Municipio de San Mateo, Departamento de Boyacá; imágenes Digital Globe y CNES/Astrium (01/10/2014). Tomado y modificado de Google Earth 2014.

2.4.20 Sierra anticlinal (Ssan)

Sierra elongada de morfología alomada a colinada de cimas agudas o redondeadas, que siguen el eje de una estructura anticlinal formada por el arqueamiento o combadura de los estratos o capas que se inclinan divergentemente a partir de su eje. Conforman laderas estructurales inclinadas a muy abruptas, rectas o convexas y de longitudes largas (Figura 52).

La unidad sobresale hacia la parte superior de la plancha con dimensiones bastante considerables y bien marcadas en territorio perteneciente a los municipios de Málaga, San José de Miranda y Molagavita (Departamento de Santander). También se define dentro de la localidad de Concepción en el sector oriental del río Servitá, en donde afloran la Formación Aguardiente y la Formación La Luna del Cretácico. Representa el 4,03% del área total de la plancha.

En esta geoforma se pueden presentar movimientos de tipo reptación de suelo, aunque en la zona no están muy generalizados.

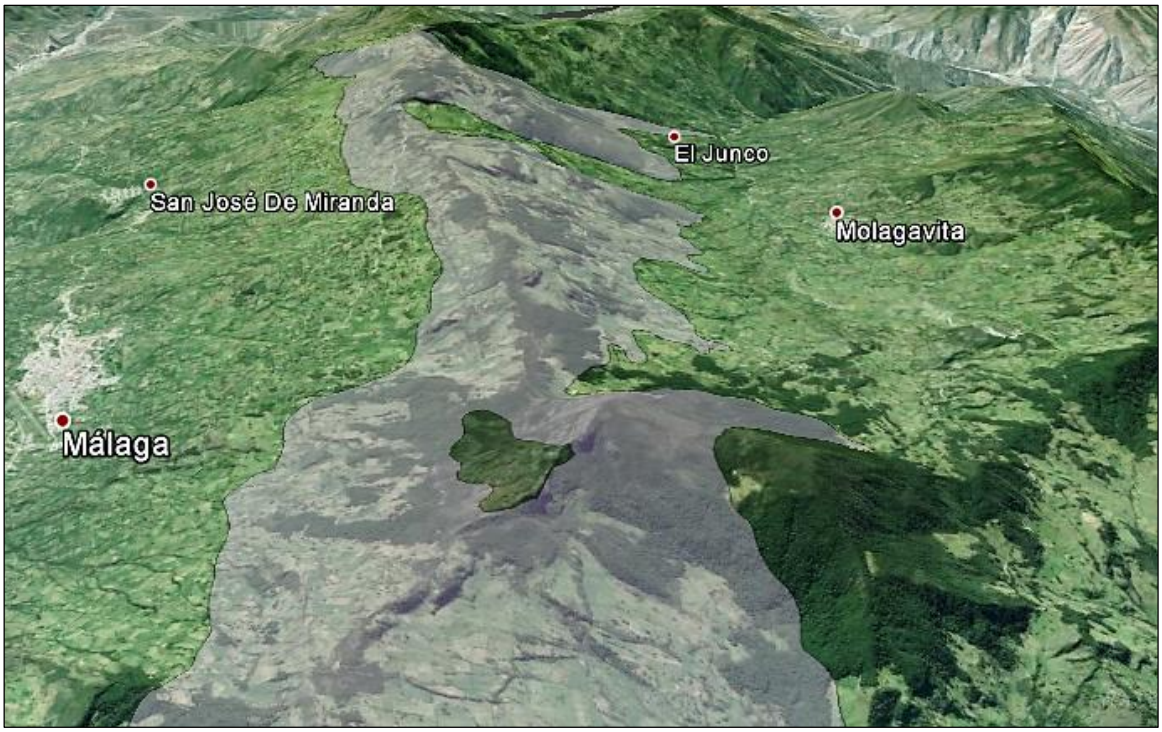


Figura 52. Unidad geomorfológica Sierra Anticlinal (Ssan) encontrada en cercanía de los municipios de Málaga, San José de Miranda y Molagavita (Departamento de Santander). Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.4.21 Sierra homoclinal (Ssh)

Corresponde a aquella unidad geomorfológica que se presenta a modo de prominencia topográfica simétrica o ligeramente simétrica, elongada y de morfología ente montañosa y colinada, presentando cimas agudas, en donde los estratos se encuentran buzando con un ángulo superior a 35°, a causa de fallamiento típicamente inverso. Representa el 1,41% del área total de la plancha.

Se caracteriza por presentar una morfología montañosa, con índice de relieve alto, de laderas de longitudes largas, pendientes muy escarpadas y de formas irregulares (Figura 53).

Es posible encontrar esta geoforma en la parte central de la zona hacia el sur del Municipio de Molagavita (Departamento de Santander), en las veredas El Naranjito, Potrero Grande y El Caney; así como hacia el extremo Suroeste de la plancha, en las veredas Guayaguata y San José del Municipio de Mogotes (Departamento de Santander). Igualmente, involucra hacia la parte central, una secuencia con un alto grado de fallamiento que involucra la Formación Girón, del Jurásico hasta la Formación Colón-Mito Juan del Cretácico Superior; mientras que a la parte suroeste se relaciona a la Formación Floresta del Devónico y a la Cuarzomonzonita del Jurásico.

Figura 53. Sombreada en gris se muestra la unidad geomorfológica Sierra Homoclinal (Ssh), encontrada en cercanías al Municipio de Molagavita (Departamento de Santander). Imagen CNES/Astrium (2014). Tomada y adaptada de Google Earth, 2014.

2.4.22 Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)

Generalmente denudada, definida por la inclinación de los estratos en dirección contraria de la pendiente topográfica, de longitud moderada a larga y formas variables entre cóncava, escalonada, festoneada e irregular, que exhibe pendientes abruptas a escarpadas. Representa el 5,22% del área total de la plancha.

La unidad se asocia a una interestratificación de rocas duras, intermedias y blandas de la Formación Tibú – Mercedes hacia los costados este y oeste de la plancha, en los municipios de Cepitá, San Joaquín, Macaravita, Capitanejo, Concepción y Carcasí (Departamento de Santander); ver **Figura 54**.

2.4.23 Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle)

Ladera de sierra homoclinal generalmente denudada, definida por la inclinación de los estratos en favor de la pendiente, de longitud corta a moderadamente larga de formas rectas a convexas y pendientes escarpadas a muy escarpadas.

Se presenta en rocas intermedias a duras, con desarrollo de suelos residuales delgados; asociada localmente con procesos denudacionales acentuados en rocas del Cretácico de las formaciones Capacho, Aguardiente y Tibú- Mercedes, en los municipios de San José de Miranda, Macaravita, Mogotes, Capitanejo, Concepción, Carcasí (Departamento de Santander) y Covarachía (Departamento de Santander); presentándose ampliamente distribuida en la plancha. Representa el 4,67% del área total de la plancha. (Figura 54).

2.4.24 Sierras y lomos de presión (Sslp)

Prominencias topográficas montañosas o alomadas, localmente curvas. Formadas por plegamiento intenso y verticalización de secuencias sedimentarias, asociados a zonas transpresivas (Figura 55).

La unidad se define en rocas del Devónico de la Formación Floresta, en los alrededores de los municipios de Covarachía (Departamento de Boyacá) y San Joaquín (Departamento de Santander); en cercanías del río Chicamocha, el cual sigue en parte el trazo del Sistema de Fallas de Bucaramanga. Representa el 6,64% del área total de la plancha.

Figura 54. Unidades Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc) y Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle), localizadas en área del Corregimiento El Tobal, Municipio de Carcasí (Santander); imágenes Landsat (04/09/2013). Modificado de Google Earth, 2014.

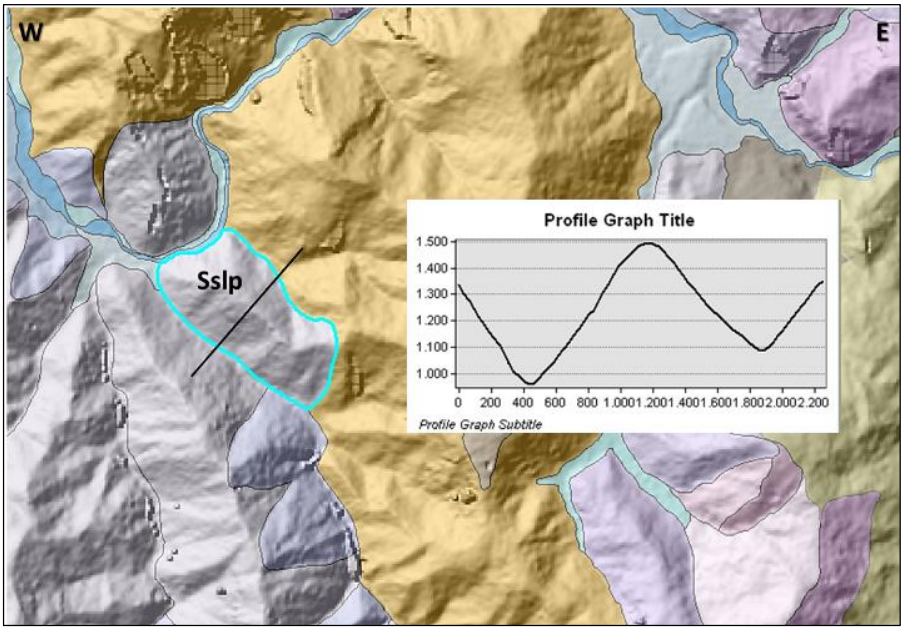


Figura 55. La línea celeste delimita la unidad Sierras y Lomos de Presión (Sslp), sobrepuesto al mapa de pendientes. A la derecha está el corte realizado en ArcMap (de ESRI) en donde se observa la expresión topográfica de la unidad geomorfológica.

2.4.25 Sierra sinclinal (Sss)

Sierra de morfología colinada, amplia y elevada, formada en el eje de un sinclinal, cuya disposición actual obedece a procesos denudativos diferenciales, que han desmantelado los flancos de la estructura. En esta geoforma pueden encontrarse movimientos en masa de tipo deslizamiento rotacional, aunque no con mucha frecuencia. Representa el 4,74% del área total de la plancha. Figura 56.

La unidad se encuentra en rocas de las formaciones Aguardiente, Capacho, Tibú-Mercedes y Luna (en algunos sectores) del Cretácico, en los municipios de Concepción y Carcasí (Departamento de Santander) hacia la parte noreste y San Mateo (Departamento de Boyacá) en la zona sureste de la plancha.

Figura 56. Sombreado en color rojizo de la unidad Sierra sinclinal (Sss), al oriente del Municipio de Concepción (Santander); imagen Landsat (2013). Tomado y adaptado de Google Earth, 2014.

2.4.26 Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc)

Ladera de sierra sinclinal generalmente denudada, definida por la disposición de estratos inclinados en contra de la pendiente del terreno, de longitud corta a moderadamente larga y de formas convexas, irregulares o escalonadas, que presentan pendientes abruptas a escarpadas. Representa el 4,67% del área total de la plancha.

Se origina como producto de procesos de erosión pluvial que actúan sobre alternancias de rocas blandas a intermedias, en donde se observa desarrollo de drenajes predominantemente dendríticos a subparalelos asociados a la formación de barrancas profundas. Se encuentra relacionada a la unidad Ladera estructural de sierra sinclinal, conformando en conjunto una geoforma más regional y de mayores dimensiones denominada sierra sinclinal (Sss).

Su extensión sobre la plancha es considerable, abarcando gran parte del sector oriental, en territorio de los municipios de Enciso, Concepción, Carcasí, Macaravita, San Miguel y San José de Miranda (Departamento Santander); abarcando la secuencia sedimentaria que va desde la Formación Girón (Jurásico) hasta la Formación Barco (Paleógeno); ver Figura 57.

2.4.27 Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle)

Ladera de sierra sinclinal generalmente denudada, definida por estratos inclinados en favor de la pendiente del terreno, de longitud corta a moderada y forma cóncava, con pendientes inclinadas a abruptas, asociada a una estructura de tipo sinclinal.

Son producto de procesos de erosión pluvial sobre la alternancia de rocas blandas a intermedias, con predominio de drenajes dendríticos a subparalelos asociados a la formación de barrancas profundas.

La unidad presenta dimensiones muy grandes a comparación de otras geoformas asociadas a estructuras regionales y se encuentra ampliamente distribuida, abarcando los municipios de Enciso, Concepción, Carcasí, Macaravita, San José de Miranda, San Miguel y San Andrés en el Departamento de Santander, asociada a una amplia secuencia de rocas sedimentarias, que van desde la Formación Girón, del Jurásico hasta la Formación Barco del Paleógeno. Normalmente se encuentra asociada a la ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc); representa el 8,31% del área total de la plancha. Figura 57.

Figura 57. Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc) y ladera Estructural de Sierra Sinclinal (Sssle) encontradas en las veredas Tenerife (Municipio de Concepción) y Santa Helena (Municipio de San Miguel); imágenes Landsat, Digital Globe, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO y CNES/Astrium (02/06/2013). Tomado y adaptado de Google Earth, 2014.

En la zona, esta unidad se encuentra ampliamente afectada por movimientos en masa, predominantemente del tipo deslizamiento rotacional, en donde el material afectado es tierra, así como en minoritarias proporciones se pueden observar reptaciones de suelos y caídas de roca.

El tipo de movimiento en masa típico observado sobre esta unidad son los deslizamientos rotacionales, aunque también se presentan reptaciones, en menor cantidad.

2.5 EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA

La geomorfología, rama de estudio de la geología, que se encarga de analizar el relieve de la superficie terrestre, así como los procesos que lo originan y modifican incluye en su estudio la interpretación morfogenética, la cual busca conocer el origen de los elementos geológicos y su morfología describiendo aspectos topográficos y geométricos de las diferentes piezas y factores que integran un entorno geológico. Carvajal *et al*., (2004) en SGC (2012), clasifica los procesos que actúan sobre el paisaje como procesos morfodinámicos externos (exógenos) e internos (endógenos).

Si se entiende que el relieve representa el conjunto de formas resultantes de la acción de fuerzas internas de la Tierra, como un concepto estructural (IDEAM,

2010) en donde la litología y la tectónica influyen en la forma resultante, entonces se encuentra que su génesis está estrictamente relacionada a procesos endógenos. Por otro lado el modelado del relieve se define como el conjunto de formas y deformaciones superficiales resultantes de los procesos ligados a la dinámica externa (IDEAM, 2010), es decir a los procesos exógenos (Figura 58).

Para la Plancha 136-Málaga, la formación del relieve está vinculada principalmente al levantamiento de la Cordillera Oriental, la cual corresponde a un sistema montañoso de doble vergencia, delimitado en ambos flancos por sistemas de fallas inversas regionales (Falla de Bituima al W y Sistema de Fallas del Borde Llanero, al E) cuyo levantamiento tuvo lugar hacia el mioceno tardío, en un evento orogénico que origino importantes sistemas montañosos a nivel global; proceso que se continua aun en la actualidad. En general, el levantamiento de la Cordillera de Los Andes, se da por una compleja interacción entre la parte NW de la placa continental de Sur América y las placas oceánicas Caribe y Nazca (Cortés, et al., 2006), resultando en interactuantes procesos de subducción, obducción y acreción de terrenos alóctonos. Sin embargo, a pesar que la geología estructural en esta zona del país está estrechamente vinculada con el levantamiento de los Andes, las fallas más importantes encontradas (Sistema de Fallas de Bucaramanga y Falla de Servitá) corresponden a caracteres heredados de antiguos procesos tectónicos, pero que en la actualidad se ajustaron al nuevo régimen tectónico.

Por lo mencionado anteriormente, se observa en la zona un predominio del ambiente morfoestructural, ya que al encontrarse sobre el cinturón plegado y fallado que configuran los procesos orogénicos, el relieve está representado por estructuras plegadas (sinclinales y anticlinales) y por la acción neotectónica de fallas regionales y locales, cuya expresión morfológica y actividad le dan forma al paisaje.

Asociadas a las estructuras plegadas es posible encontrar unidades geomorfológicas como ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle), laderas estructural y de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshley Sshlc respectivamente, sierras anticlinales (Ssan) y sierras sinclinales (Sss) predominantemente, mientras que asociadas a fallas locales y regionales típicamente se encuentran sierras y lomos de presión (Sslp), espolones (Ses), ganchos de flexión (Sgf), escarpes de línea de falla (Slfe) y lomos de falla (Slf) entre otras, que se encuentran sobre rocas paleozoicas (como la Formación Floresta y Formación Silgará), rocas ígneas del Jurásico (como la Cuarzomonzonita y Cuarzomonzonita de Santa Bárbara) y rocas sedimentarias que conforman las secuencias cretácica y paleógena en la zona. Por otro lado, es posible encontrar múltiples movimientos en masa en este ambiente, entre los que destacan predominantemente los deslizamientos de tipo rotacional, aunque

también se encuentran de tipo traslacional y otros movimientos tales como reptaciones, caídas y flujos.

Durante el Cuaternario obedeciendo a una serie de procesos y factores, se produjo un cambio climático importante a nivel global, la temperatura del planeta disminuyó, permitiendo la formación de masas glaciares en los polos terrestres y en las partes montañosas, marcando así el inicio de un periodo glacial. A nivel global, este periodo glacial inicio hace aproximadamente 116.000 años, aunque las temperaturas solo fueron lo suficientemente bajas como para permitir la formación de masas glaciares en Colombia en un intervalo de tiempo comprendido entre los 70.000 y 25.000 años, denominado fase periglacial (Van Der Hammen, 1985; en IDEAM, 2010). Al período glacial en Colombia se le denomina Cocuy o Fuquense (Van Der Hammen, 1985 en IDEAM, 2010), en el cual la máxima extensión de los cuerpos glaciares fue de 17.109 km², y alcanzaban a descender hasta los 3000 m.s.n.m aproximadamente (Flórez, 1992; en IDEAM, 2010)

La masa glaciar que ha tenido influencia con procesos predominantemente periglaciares, se encuentra aún en la Sierra Nevada de El Cocuy, originando geoformas de ambiente glaciar al noreste de la zona, entre las que se encuentran cono y lóbulo de gelifracción (Gclg), plano y cono de sobrelavado glacial (Gpcs), plano glaciolacustrino (Gpgl), Sierra anticlinal glaciada (Gsag), ladera estructural de sierra anticlinal glaciada (Gsale) y sierra homoclinal glaciada (Gshg), asociadas a depósitos glaciares del cuaternario. Sin embargo, debido al cambio climático que se está viviendo en la actualidad, y al consecuente retroceso de la masa glaciar, estas geoformas van perdiendo su relevancia. No es común encontrar movimientos en masa asociados a este ambiente en la zona de estudio, sin embargo llegan a presentarse deslizamientos rotacionales ocasionales.

Por otro lado y en parte gracias al deshielo del glaciar en la parte alta de la cordillera y al efecto que tiene el levantamiento de la misma en las precipitaciones (por el choque de las corrientes de aire contra la cordillera), en la zona se presenta un amplio y bien distribuido sistema fluvial, en donde los drenajes no suelen desarrollar valles amplios y bastas llanuras de inundación por encontrarse en una zona de montaña, salvedad hecha por el río Chicamocha, que representa el cauce más importante que cruza la zona en un sentido NW-SE y cuyo trazo se encuentra en gran parte controlado por el sistema de Falla de Bucaramanga.

Asociadas al ambiente fluvial se encuentran geoformas típicas como conos de deyección (Fcdy), plano y llanura de inundación (Fpi), cauce activo (Fca) y terrazas de acumulación (Fta), configuradas en depósitos de tipo Aluvión (Qal) y Terraza y Cono de Deyección (Qtf). En estas geoformas los movimientos en masa no suelen presentarse a causa de la dinámica de los cauces que las originan.

En conjunto, los procesos exógenos que se han mencionado anteriormente, se encargar de moldear y modificar el relieve, cambiando las formas existentes y originando nuevas formas y depósitos, definiendo el ambiente morfogenético denudacional. En este, los procesos de predominante importancia son la erosión fluvial y pluvial, en donde cabe resaltar el efecto antrópico sobre los procesos de intemperismo y denudación, porque aunque no se encuentran geoformas originadas por la intervención humana (ambiente morfogenético antrópico), influyen en gran medida al cambiar o remover la cobertura nativa del paisaje, lo que favorece a que los procesos erosivos actúen con más intensidad en zonas que han sido deforestadas o en donde se desarrolla algún tipo de actividad económica. Las geoformas que pertenecen a este ambiente se encuentran en la zona relacionadas a rocas que van desde el paleozoico (como las formaciones Floresta y Silgará y el Ortoneis) pasando por rocas ígneas del jurásico (Cuarzomonzonita) y rocas de las secuencias cretácica y paleógena hasta depósitos recientes de coluvión (Qd). Asociados a este ambiente es posible encontrar múltiples procesos de movimientos en masa tales como deslizamientos rotacionales, flujos, caídas y reptaciones.

Figura 58. Bloque diagrama realizado para la Plancha 136-Málaga en su parte norte, en donde se observan las principales geoformas que componen y dan forma al relieve, así como su relación con la geología y principales estructuras de la zona.

CONCLUSIONES

Las unidades Geomorfológicas presentes en el área de estudio se pueden agrupar en cuatro ambientes morfogenéticos principales, en donde se encuentran el Morfoestructural (56,39%) el cual agrupa todas aquellas geoformas representan la evidencia superficial de la dinámica interna de planeta (procesos endógenos) y en donde los procesos típicos son el plegamiento y el fallamiento; seguido por el Denudacional (36,38 %) el cual abarca las geoformas que están asociadas a la destrucción y modelamiento del relieve, en donde predominan los procesos de meteorización y erosión (pluvial y aluvial predominantemente). Minoritariamente se encuentran los ambiente Fluvial y Lagunar (3,77%) y Glacial (3,47%) en los cuales se agrupan los depósitos y geoformas erosivas asociados a los cauces aluviales y a las masas glaciares respectivamente.

Los deslizamientos encontrados en mayor densidad y frecuencia en el área de estudio corresponden a deslizamientos rotacionales, los cuales se caracterizan por afectar capas de suelo de espesor importantes, generar zonas de ruptura cóncavas de profundidad considerable, y presentar escarpes pronunciados en la corona, exhibiendo pendientes bajas a moderadas. Se concentran especialmente en el ambiente Denudacional y en menor cantidad en el Glacial.

Las estructuras regionales de Sinclinales y Anticlinales presentes en el área de estudio dentro de la franja este, permiten definir las unidades pertenecientes al ambiente Morfoestructural en donde resaltan las laderas a favor y contrapendiente de sierras; entre las cuales, las unidades de contrapendiente se consideran de mayor estabilidad por su resistencia a la generación de movimientos en masa.

Por otro lado, el ambiente Fluvial está conformado principalmente por depósitos aluviales, generados por los dos principales cauces de la zona, los ríos Chicamocha y Servitá. Estos depósitos a pesar de no presentar movimientos en masa de alto riesgo para la comunidad, siguen siendo susceptibles ante procesos de socavación que pueden detonar dichos eventos en las partes laterales de los cauces principales.

RECOMENDACIONES

En el presente se han descrito las características morfodinámicas y morfogenéticas identificadas para la Plancha 136-Málaga, a escala 1:100.000. Sin embargo la información que aquí ha sido presentada no debe ser tomada como un resultado final, si no como un aporte al conocimiento geomorfológico de la zona de estudio, ya que la escala de trabajo utilizada (1:100.000) representa un factor limitante para la cartografía de unidades geomorfológicas o procesos correspondientes a movimientos en masa de dimensiones menores (extensiones inferiores a 40.000 m^2), que actualmente están modificando y transformando la superficie terrestre. Debido a esto, se recomienda realizar estudios posteriores a mayor escala para el área de trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCALDÍA DE CEPITÁ. (Febrero de 2014). Alcaldía de Cepitá – Santander, corazón del Cañón del Chicamocha. Recuperado el 8 de abril de 2014 de, http://www.cepita-santander.gov.co/informacion_general.shtml.

ALCALDÍA DE CERRITO. (Enero de 2014). Alcaldía de Cerrito – Santander, humildad y honestidad para la prosperidad 2012-2015. Recuperado el 8 de abril de 2014 de, http://www.cerrito-santander.gov.co/informacion_general.shtml.

ALCALDÍA DE CONCEPCIÓN. (Diciembre de 2013). Alcaldía de Concepción – Santander, Unidos por la Prosperidad de Concepción Recuperado el 8 de abril de 2014 de, http://www.concepcion-santander.gov.co/informacion_general.shtml.

ALCALDÍA DE MÁLAGA. (Febrero de 2014). Alcaldía de Málaga – Santander, Málaga de todos y para todos. Recuperado el 8 de abril de 2014 de, http://www.malaga-santander.gov.co/informacion_general.shtml.

ALCALDÍA DE MOGOTES. (Enero de 2014). Alcaldía de Mogotes – Santander "unidos para volver a creer". Recuperado el 8 de abril de 2014 de, http://www.mogotes-santander.gov.co/informacion_general.shtml.

ALCALDÍA DE SAN ANDRÉS. (Enero de 2014). Alcaldía de San Andrés – Santander “unidos seguiremos dejando huella”. Recuperado el 8 de abril de 2014 de, http://www.sanandres-santander.gov.co/informacion_general.shtml.

DE ALMEIDA, B., DE CASTRO, M., DE ALMEIDA, V. y NATALI, T. 1995. Manual técnico de geomorfología. Serie manuales técnicos de geociencias n. 5, pp.111. Río de janeiro. Brasil. ISSN 85-240-0509-2.

CARVAJAL, J. 2002. Caracterización de la metodología geomorfológica adaptada por INGEOMINAS. Documento interno INGEOMINAS sometido a discusión y modificaciones. 13p. Bogotá. Colombia.

CARVAJAL J. 2004.Visión integral de la geomorfología Colombiana. Resumen poster. Memorias del IX Congreso Colombiano de Geología. Medellín. Colombia.

CARVAJAL, J. 2008. Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia. Documento inédito en preparación. 32 p.

CARVAJAL, J. 2011. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Informe Servicio Geológico 71 p. Bogotá.

CORTÉS, M., COLETTA, B. y ANGELIER, J. 2006. Structure and tectonics of the central segment of the Eastern Cordillera of Colombia. En: South American Earth Sciences, pp. 437-465.

IDEAM. 2010. Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 252 p., 2 anexos, planchas en DVD.

IGAC. 2003. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Santander, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D.C.

IGAC. 2004. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D.C.

IGAC. 2006. Cartografía oficial de Colombia, Hoja 136 Málaga, Carta General escala 1:100.000. Bogotá D.C.

INGEOMINAS. 2002. Metodología de cartografía geomorfológica con aplicación a zonificación geomecánica. Fase 1. Documento inédito y en revisión. INGEOMINAS. Bogotá. Colombia.

INGEOMINAS. 1984. Geología de la plancha 136 Málaga, escala 1:100.000. Bogotá.

JULIVERT, M., BARRERO, D., BOTERO, G., DUQUE, H. 1968. Léxico Estratigráfico Internacional: América Latina, Colombia. Unión Internationale Des Sciencies Géologiques, p. 572. París. Francia.

PARIS G., MACHETTE, M., DART, R. Y HALLER K. 2000. Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions. Open-File Report 00-0284, USGS.

ROYERO, J. Y CLAVIJO J. 2001. Memoria explicativa mapa geológico generalizado del Departamento de Santander. INGEOMINAS. Bogotá.

SGC. 2012. Propuesta Metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa Escala 1:100.000. Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental, 88p. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá-Colombia.

UIS. 2013. Tabla de recolección de datos de morfometría para la cartografía geomorfológica, Universidad Industrial de Santander.

VERSTAPPEN, H.T.; VAN ZUIDAM, R.A. 1992. El sistema I.T.C. para levantamientos geomorfológicos. Publicación I.T.C. No 10. Villanueva de Huelva. Holanda.

VILLOTA, H. 1991. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Instituto geográfico Agustín Codazzi – Subdirección de docencia e Investigación. 211p. Bogotá. Colombia.

WARD, D., GOLDSMITH, R., CRUZ, J., RESTREPO, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona, Departamento de Santander. INGEOMINAS, Boletín Geológico, Vol. XXI (1-3). Bogotá. Colombia.

WARD, D., GOLDSMITH, R., CRUZ, J., JARAMILLO, L., VARGAS, R. 1977. Geología del Cuadrángulo H13 Pamplona a escala 1:100.000. INGEOMINAS, Bogotá. Colombia.

ZINCK, J. 2012. Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. 123 p. ISBN: 90 6164 339 2. Enschede, Holanda.