

APOYO EN LA ELABORACION Y EVALUACION PRELIMINAR DE LA GEOMORFOLOGIA, INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Y AJUSTES GEOLOGICOS DE LA PLANCHA No. 171 DUITAMA EN LOS CUADRANTES “171-II-C, 171-II-D, 171-IV-A Y 171-IV-B”, DEPARTAMENTO DE BOYACA A ESCALA 1:25.000 EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 001610 DE 2015 UPTC – GOBERNACION DE BOYACA – CAR.

Autor:
Sergio Andrés Becerra Camacho

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
INGENIERIA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

APOYO EN LA ELABORACION Y EVALUACION PRELIMINAR DE LA GEOMORFOLOGIA, INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Y AJUSTES GEOLOGICOS DE LA PLANCHA No. 171 DUITAMA EN LOS CUADRANTES "171-II-C, 171-II-D, 171-IV-A Y 171-IV-B", DEPARTAMENTO DE BOYACA A ESCALA 1:25.000 EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 001610 DE 2015 UPTC – GOBERNACION DE BOYACA – CAR.

Autor:
Sergio Andrés Becerra Camacho

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:
Ingeniero Geólogo

Modalidad: Trabajo de Investigación

Director:
Héctor Antonio Fonseca Peralta
Ing. Geólogo
Msc. Ecología Tropical

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
INGENIERIA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

Nota de aceptación

Director de escuela de
Ingeniería Geológica

Director del proyecto

Firma presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa. A mis Padres, por ser guías y apoyo incondicional en mi formación personal, a mi hermana por su cariño y por ser siempre mi compañía durante la vida, a Daniela Mesa quien ha sido mi apoyo incondicional en mi desarrollo profesional y personal, quien me escucha, comprende y me ha motivado en los momentos difíciles, a mis Amigos, Adrián Gutiérrez, Diego Fonseca y Mauricio Fonseca quienes me han acompañado en esta etapa, me han asesorado y con quien tengo gratos recuerdos

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por encaminarme en una futura profesión, para así desempeñar un excelente papel como profesional. Al Ingeniero Héctor Antonio Fonseca, por la confianza y la oportunidad que me dio para poder iniciar este proyecto que hoy me permite culminar esta etapa de mi vida. A los Ingenieros Ernesto Gutiérrez, Mónica Barrera y Omar Pérez por su guía y asesoramiento en este proceso, ya que gracias a sus conocimientos y ayuda hoy es posible presentar este proyecto y en general, a todas las personas que durante el estudio me brindaron su apoyo y me dieron grandes enseñanzas para la vida.

TABLA DE CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2	JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	3
3	OBJETIVOS.....	4
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
4	METODOLOGIA.....	5
4.1	RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	5
4.2	ANÁLISIS Y FOTOINTERPRETACIÓN PRELIMINAR.....	5
4.3	VISITA DE CAMPO	6
4.4	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION OBTENIDA	6
4.5	REALIZACION DE MAPAS FINALES	6
4.6	INFORME FINAL.....	7
5	GENERALIDADES	9
5.1	LOCALIZACION GEOGRAFICA	9
5.1.1	VIAS DE ACCESO.....	10
5.2	HIDROGRAFIA.....	10
5.3	CLIMA.....	11
6	GEOLOGIA.....	14
6.1	ESTRATIGRAFIA.....	14
6.1.1	PALEOZOICO.....	14
6.1.1.1	Formación Cuche (Cc).....	14
6.1.2	MESOZOICO	15
6.1.2.1	Formación Palermo (Trjp).....	15
6.1.2.2	Formación Montebel (Jlm)	16
6.1.2.3	Formación La Rusia (Jru)	17
6.1.2.4	Formación Arcabuco (Jar) y su miembro del techo (Jart)	18
6.1.3	CRETACEO	19

6.1.3.1	Formación Cumbre (Kic).....	19
6.1.3.2	Formación Rosablanca (Kir)	19
6.1.3.3	Formación Ritoque (Kiri)	20
6.1.3.4	Formación Los Medios	21
6.1.3.5	Formación Paja (Kimp)	22
6.1.3.6	Formación Tibasosa	22
6.1.3.7	Formación Une (Kv2).....	23
6.1.3.8	Grupo Churuvita (Ksch)	24
6.1.3.9	Formación Conejo (Kscn)	25
6.1.3.10	Formación Plaeners (Kg2)	25
6.1.3.11	Formación Labor y Tierna (Kg1)	26
6.1.3.12	Formación Guaduas (Ktg).....	26
6.1.4	TERCIARIO.....	27
6.1.4.1	Formación Tilata (Tst).....	27
6.1.5	CUATERNARIO	28
6.1.5.1	Depósitos Aluviales (Qal)	28
6.1.5.2	Abanicos Aluviales (Qa)	29
6.2	GEOLOGIA ESTRUCTURAL	32
6.2.1	FALLAS GEOLOGICAS	32
6.2.1.1	Falla de Boyacá.....	32
6.2.1.2	Falla de Sotaquira.....	33
6.2.1.3	Falla de Chivatá.....	33
6.2.2	ESTRUCTURAS	33
6.2.2.1	Sinclinal de Los Medios	33
6.2.2.2	Anticlinal de Arcabuco	34
6.3	EVOLUCION TECTONICA.....	34
6.3.1	CÁMBRICO - ORDOVÍCICO (540 – 435 m. a.).....	34
6.3.2	DEVÓNICO - CARBONÍFERO (410 – 295 m. a.).....	35
6.3.3	TRIÁSICO SUPERIOR (230 – 208 m. a.)	35
6.3.4	JURÁSICO INFERIOR (208 – 197 m. a.).....	35

6.3.5	BERRIASIANO (114 – 138 m. a.).....	35
6.3.6	BERRIASIANO – VALANGIANO (138 – 131 m. a.)	35
6.3.7	VALANGIANO – HAUTERIVIANO (131 – 119 m. a.).....	35
6.3.8	APTIANO – ALBIANO (119- 113 m. a.).....	36
6.3.9	ALBIANO – MAESTRICHTIANO (113 – 66 m. a.).....	36
6.3.10	MAESTRICHTIANO – CENOMANIANO (113 – 91 m. a.).....	36
6.3.11	TURONIANO - CONIACIANO (91– 88 m. a.)	36
6.3.12	SANTONIANO – MAESTRICHTIANO (88– 86 m. a.)	36
6.3.13	LIMITE CRETÁCICO – TERCIARIO (65 m. a.).....	36
6.3.14	TERCIARIO (66 – 2 m. a.)	36
6.3.15	CUATERNARIO (2 m. a.).....	37
6.4	MAPA GEOLOGICO.....	37
7	MOVIMIENTOS EN MASA	39
7.1	DILIGENCIAMIENTO DEL FORMATO PMA-GCA.....	39
7.1.1	ENCABEZADO.....	40
7.1.2	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y DOCUMENTAL DEL EVENTO ...	40
7.1.3	ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO	40
7.1.4	LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA.....	41
7.1.5	CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO	41
7.1.6	MORFOMETRÍA	42
7.1.7	CAUSAS DEL MOVIMIENTO	42
7.1.8	COBERTURA Y USO DEL SUELO.....	42
7.1.9	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	43
7.1.10	EFFECTOS SECUNDARIOS.....	43
7.1.11	IMPORTANCIA DEL EVENTO	43
7.1.12	DAÑOS	43
7.1.13	NOTAS Y APRECIACIÓN DEL RIESGO.....	44
7.1.14	ESQUEMA.....	44
7.1.15	REGISTRO FOTOGRÁFICO	44
8	GEOMORFOLOGIA	46

8.1	ATRIBUTOS DEL MAPA GEOMORFOLOGICO	47
8.2	MORFOGENESIS	51
8.2.1	AMBIENTE ESTRUCTURAL	54
8.2.1.1	Barra Homoclinal (Sbh)	57
8.2.1.2	Cuesta (Sc).....	57
8.2.1.3	Cerro Estructural (Sce)	58
8.2.1.4	Espinazo (Se)	59
8.2.1.5	Espolón (Ses)	59
8.2.1.6	Espolón alto de longitud media (Sesam)	60
8.2.1.7	Espolón bajo de longitud corta (Sesbc)	60
8.2.1.8	Espolón bajo de longitud larga (Sesbl)	61
8.2.1.9	Espolón bajo de longitud media (Sesbm)	61
8.2.1.10	Espolón medio de longitud larga (Sesml).....	61
8.2.1.11	Ladera contrapendiente (Slcp).....	62
8.2.1.12	Ladera estructural (Sle).....	62
8.2.1.13	Escarpe de línea de falla (Slfe)	63
8.2.1.14	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc)	64
8.2.1.15	Ladera estructural sierra anticlinal (Ssale).....	64
8.2.1.16	Sierra anticlinal (Ssan).....	65
8.2.1.17	Sierra homoclinal (Ssh).....	65
8.2.1.18	Ladera de contrapendiente sierra homoclinal (Sshlc)	66
8.2.1.19	Ladera estructural sierra homoclinal (Sshle).....	66
8.2.1.20	Sierra sinclinal (Sss)	67
8.2.1.21	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc).....	67
8.2.1.22	Ladera estructural sierra sinclinal (Sssle)	68
8.2.2	AMBIENTE DENUDACIONAL.....	68
8.2.2.1	Cima (Dc).....	71
8.2.2.2	Colina residual (Dcr)	72
8.2.2.3	Cerró remanente o relicto (Dcrem)	72
8.2.2.4	Escarpe de erosión mayor (Deem)	73

8.2.2.5	Escarpe de erosión menor (Deeme).....	74
8.2.2.6	Cono o lóbulo de flujo diferenciado (Dft).....	75
8.2.2.7	Loma denudada (Dld).....	75
8.2.2.8	Lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc).....	76
8.2.2.9	Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl).....	77
8.2.2.10	Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm).....	77
8.2.2.11	Lomo denudado moderado de longitud corta (Dldemc).....	78
8.2.2.12	Lomeríos disectados (Dldi).....	78
8.2.2.13	Ladera erosiva (Dle).....	79
8.2.2.14	Lomeríos muy disectados (Dlmd).....	80
8.2.2.15	Ladera ondulada (Dlo).....	80
8.2.2.16	Loma residual (Dlor).....	81
8.2.2.17	Lomo residual (Dlres).....	82
8.2.2.18	Montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo).....	82
8.2.2.19	Planicie (Dp).....	83
8.2.2.20	Planicie colinada residual (Dpcr).....	84
8.2.2.21	Sierra residual (Dsr).....	84
8.2.3	AMBIENTE GLACIAL Y PERIGLACIAL.....	85
8.2.3.1	Circo glacial y de nivación (Gc).....	88
8.2.3.2	Ladera contrapendiente de cuesta glaciada (Gclc).....	89
8.2.3.3	Ladera estructural de cuesta glaciada (Gcle).....	89
8.2.3.4	Espolón glaciado (Gee).....	90
8.2.3.5	Flancos de valle glacial (Gflv).....	90
8.2.3.6	Laguna glacial (Glg).....	91
8.2.3.7	Morrena de fondo (Gmf).....	91
8.2.3.8	Plano glaciolacustrino (Gpgl).....	92
8.2.3.9	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal glaciada (Gsalc).....	92
8.2.3.10	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada (Gsale).....	93
8.2.3.11	Ladera contrapendiente de sierra homoclinal glaciada (Gshlc).....	94
8.2.3.12	Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle).....	94

8.2.3.13	Sierra sinclinal glaciada (Gssg).....	94
8.2.3.14	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal glaciada (Gsslc).....	95
8.2.3.15	Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada (Gssle).....	96
8.2.4	AMBIENTE FLUVIAL Y LAGUNAR.....	96
8.2.4.1	Abanico fluviotorrencial (Faa).....	98
8.2.4.2	Cauce aluvial (Fca).....	99
8.2.4.3	Escarpe de abanico aluvial (Fea).....	99
8.2.4.4	Planicie aluvial confinada (Fpac).....	99
8.2.4.5	Terraza de acumulación (Fta).....	100
8.2.4.6	Terraza de acumulación antigua (Ftan).....	101
8.2.5	AMBIENTE ANTROPICO.....	102
8.2.5.1	Cantera (Ac).....	103
8.3	MORFODINAMICA.....	103
8.3.1	INDICE DE RELIEVE RELATIVO (RR).....	105
8.3.2	INCLINACION DE LA LADERA.....	107
8.3.3	COMBINACION DEL RELIEVE RELATIVO Y LA INCLINACION DE LADERA.....	109
8.3.4	UNIDADES DE SUELO.....	110
8.3.5	INVENTARIO DE MOVIMIENTOS.....	112
8.3.6	COMPILACION DE RESULTADOS.....	113
9	CONCLUSIONES.....	116
10	BIBLIOGRAFIA.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema Metodología.....	8
Figura 2. Localización de la zona de estudio.....	9
Figura 3. Mapa de Hidrografía.....	10
Figura 4. Pisos térmicos de la zona de estudio.....	13
Figura 5. Columnas estratigráficas 1.....	30
Figura 6. Columnas estratigráficas 2.....	31
Figura 7. Bloque Diagrama de Unidades Geológicas.....	38
Figura 8. Mapa Geológico de la zona de estudio.....	38
Figura 9. Esquema de jerarquización geomorfológica.....	46
Figura 10. Rangos de forma de la ladera.....	50
Figura 11. Ambientes área de estudio.....	52
Figura 12. Ambientes área de estudio.....	53
Figura 13. Mapa de unidades del ambiente estructural.....	54
Figura 14. Distribución de unidades del ambiente estructural.....	56
Figura 15. Barras homoclinales.....	57
Figura 16. Cerro estructural.....	58
Figura 17. Escarpe de línea de falla.....	63
Figura 18. Sierra anticlinal.....	64
Figura 19. Mapa de unidades del ambiente denudacional.....	69
Figura 20. Distribución de unidades del ambiente Denudacional.....	71
Figura 21. Cima.....	71
Figura 22. Lomeríos disectados.....	79
Figura 23. Mapa de unidades del ambiente Glacial y Periglacial.....	86
Figura 24. Distribución de unidades de ambiente glacial y periglacial.....	87
Figura 25. Circo glacial.....	88
Figura 26. Sinclinal pan de azúcar.....	95
Figura 27. Mapa de unidades del ambiente Fluvial y Lagunar.....	97
Figura 28. Distribución de las unidades de ambiente Fluvial y Lagunar.....	98
Figura 29. Mapa de unidades del ambiente Antropogenico.....	102
Figura 30. Cantera al NE de Duitama.....	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación pisos térmicos.....	12
Tabla 2. Rangos de relieve relativo.....	48
Tabla 3. Rangos de inclinación de la ladera.	48
Tabla 4. Rangos de longitud de la ladera.	49
Tabla 5. Rangos de forma de la ladera.....	49
Tabla 6. Rangos de forma de la ladera.....	50
Tabla 7. Distribución de ambientes.....	52
Tabla 8. Ambiente Estructural.....	55
Tabla 9. Ambiente Denudacional.....	69
Tabla 10. Unidades del ambiente Glacial y Periglacial	86
Tabla 11. Ambiente fluvial y lagunar	97
Tabla 12 Ambiente antropogenico	103

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Formación Cucho, junto al valle de Duitama.	15
Fotografía 2. Formación Palermo cerca al corregimiento del mismo nombre.	16
Fotografía 3. Formación Montebel sobre la formación Palermo	17
Fotografía 4. Rocas de la formación “La Rusia”, en el páramo.....	18
Fotografía 5. Rocas de la formación “Arcabuco”	19
Fotografía 6. Rocas de la formación “Ritoque”	20
Fotografía 7. Distribución de formaciones Geológicas Vereda Carrizal, Municipio de Sotaquirá.....	21
Fotografía 8. Distribución formaciones Geológicas cerca de la cabecera del Municipio de Sotaquirá.	22
Fotografía 9. Canteras abandonadas de la formación Tibasosa, Miembro Kit 4.	23
Fotografía 10. Rocas de la formación Uru.	24
Fotografía 11. Distribución de formaciones Geológicas, Municipio de Duitama. ...	25
Fotografía 12. Formación Tilatá, al sur del municipio de Paipa.	28
Fotografía 13. Depósito Aluvial, municipio de Duitama.....	29
Fotografía 14. Cuesta.	58
Fotografía 15. Barras homoclinales.	59
Fotografía 16. Espolón.....	60
Fotografía 17. Ladera contrapendiente.....	62
Fotografía 18. Ladera estructural.....	63
Fotografía 19. Sierra homoclinal.....	66
Fotografía 20. Sierra Sinclinal de los Medios.....	67
Fotografía 21. Ladera de contrapendiente y estructural de sierra sinclinal.....	68
Fotografía 22. Colina residual.....	72
Fotografía 23. Cerró remanente o relicto.	73
Fotografía 24. Escarpe de erosión mayor.....	74
Fotografía 25. Escarpe de erosión menor.....	74
Fotografía 26. Cono o lóbulo de flujo diferenciado.....	75
Fotografía 27. Loma denudada.....	76
Fotografía 28. Lomo y lomeríos muy disectados	77
Fotografía 29. Lomo denudado bajo de longitud media.....	78
Fotografía 30. Ladera erosiva.....	80
Fotografía 31. Ladera ondulada.....	81
Fotografía 32. Loma residual.....	81
Fotografía 33. Lomo residual.....	82
Fotografía 34. Montículos y ondulaciones denudacionales.	83
Fotografía 35. Planicie.....	83

Fotografía 36. Planicie colinada residual.	84
Fotografía 37. Sierra residual.....	85
Fotografía 38. Circo glacial, morrena de fondo y flancos de valle glacial	88
Fotografía 39. Laderas de cuesta glaciada.....	89
Fotografía 40. Espolón glaciado	90
Fotografía 41. Laguna pan de azúcar.	91
Fotografía 42. Plano glaciolacustrino.....	92
Fotografía 43. Ladera de contrapendiente sierra anticlinal glaciada.....	93
Fotografía 44. Ladera estructural sierra anticlinal glaciada.....	94
Fotografía 45. Abanico Fluviotorrencial	98
Fotografía 46. Cauce aluvial del rio Chicamocha.....	99
Fotografía 48. Terraza de acumulación, Rio Palermo.....	101

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. MAPA GEOLOGICO 171-II-C, 171-II-D

ANEXO 2. MAPA GEOLOGICO 171-IV-A, 171-IV-B

ANEXO 3. COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

ANEXO 4. FORMATOS PMA-GCA

ANEXO 5. MAPA GEOMORFOLOGICO 171-II-C, 171-II-D

ANEXO 6. MAPA GEOMORFOLOGICO 171-IV-A, 171-IV-B



INTRODUCCION

La geomorfología es la ciencia de la tierra que se encarga del estudio de la relación de las formas del relieve, sus materiales, su disposición, los procesos que la originaron y los procesos por los cuales cambia. Por otra parte la evaluación de los fenómenos de remoción en masa es importante para determinar zonas inestables que pueden llegar a afectar obras de infraestructura, vidas humanas, semovientes, etc.

Siendo de gran importancia el estudio de las unidades geomorfológicas para entender cómo evoluciona la superficie terrestre y de esta manera tener una herramienta en la planificación territorial, en la evaluación de amenazas naturales, obras de infraestructura, estudios de vulnerabilidad entre otros.

Para estos estudios es de gran importancia los Sistemas de Información Geográfica, que son la herramienta que nos permite evaluar la geomorfología previamente antes de recolectar información primaria en campo, posteriormente hacer correcciones y mediciones adecuadas para generar un mapa que nos muestre la distribución de las unidades geomorfológicas en nuestra área de estudio, la cual se encuentra conformada por 600 Km², encerrando las cabeceras municipales de los municipios de Duitama y Paipa

El objetivo de esta investigación es la evaluación de las diferentes unidades geomorfológicas, su evolución, disposición, relación con unidades geológicas y movimientos en masa.



1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los fenómenos naturales como, la remoción en masa actualmente son de gran preocupación para la población en general, puesto que estos afectan directa o indirectamente su bienestar, por esto, los entes gubernamentales buscan la solución a los problemas que se generan por la continua modelación del terreno, de manera que se hace necesario el estudio de estos fenómenos que afectan el territorio.

Para el estudio de estos fenómenos es necesario tener en cuenta varios campos como lo son; la Geomorfología, la Geología, la Fotogeología, la Geología Estructural, la Geología Ambiental etc. Con cada uno de estos campos se busca llegar a identificar los contribuyentes y detonantes que desarrollan en conjunto la modelación del paisaje.

Siendo la Geomorfología y la Geología las áreas más importantes de este estudio, se buscara la relación existente entre estas, en la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.

Este tipo de estudios contribuyen y dan información adecuada a los entes gubernamentales, para el ordenamiento territorial.



2 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

El estudio de los procesos por los cuales es modelado el paisaje, es de gran importancia, ya que esto nos ayuda a comprender su proceso natural de evolución y es a partir de esto, que podemos tener una base para tomar decisiones en cuanto a planes de ordenamiento territorial, puesto que los estudios geológicos, geomorfológicos y de movimientos en masa, son la base de diferentes investigaciones.

La geomorfología, junto con la geología, son factores influyentes en la generación de fenómenos de remoción en masa, esta investigación busca la relación entre estos.

En la zona de estudio se localizan las cabeceras municipales de Duitama y Paipa, siendo áreas en las que se concentra una parte importante de la población del departamento de Boyacá, por esto es importante el estudio del modelamiento del paisaje, ya que en estas áreas tan pobladas es prioritario localizar zonas susceptibles a los fenómenos naturales; como los movimientos en masa, los flujos torrenciales, inundaciones etc. Que si llegaran a ocurrir afectarían a un número importante de habitantes.



3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un apoyo técnico en la elaboración del mapa de unidades morfogénicas, inventario de movimientos en masa y ajustes geológicos correspondientes a la plancha 171 Duitama, en los cuadrantes 171-II-C, 171-II-D, 171-IV-A Y 171-IV-B a escala 1:25.000.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Hacer una recopilación y análisis de la información obtenida.
- ✓ Realizar la fotointerpretación de las geoformas encontradas en la zona de estudio y posteriormente su verificación en campo.
- ✓ Realizar el ajuste de las unidades geológicas propuestas en el mapa geológico 171.
- ✓ Realizar un inventario de los movimientos en masa presentes en el área.
- ✓ Identificar las unidades morfogénicas preliminares para la realización de la cartografía geomorfológica.
- ✓ Realizar el mapa morfodinámico del área de estudio.



4 METODOLOGIA

La metodología empleada en este trabajo está basada en 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.y la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, las dos del Servicio Geológico Colombiano.

4.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Esta primera etapa consistió en la búsqueda y recolección de información guía, la cual fue la base del proyecto. Esta información está conformada por mapas geológicos, cartografía base, cartografía temática, imágenes satelitales etc. Las cuales son obtenidas del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) y el SGC (Servicio Geológico Colombiano).

Dentro de los insumos adquiridos se encuentran:

- Geología de la plancha 171, INGEOMINAS a escala 1:100.000.
- Memoria geología de la plancha 171.
- Mapas Topográficos de los cuadrantes 171-II-C, 171-II-D, 171-IV-A y 171-IV-B a escala 1:25.000.
- Dem Srtm30, modelo digital de elevación.
- Modelo de Sombras, producto del Dem.
- Imagen Satelital de Google Earth.

Con base en esta información recopilada se clasificó los insumos necesarios para cumplir con la siguiente etapa.

4.2 ANÁLISIS Y FOTOINTERPRETACIÓN PRELIMINAR

Primero se realizó un análisis de la geomorfología, mediante el uso del Dem (modelo digital de elevación), con el cual se construyó un modelo de sombras del terreno y un mapa de pendientes, además del uso de imágenes satelitales que combinados y mediante fotointerpretación, se logra delimitar, primero los diferentes ambientes geomorfológicos y posteriormente algunas unidades. Luego, se procedió a observar posibles movimientos en masa de dimensiones superiores a 50m x 50m, para luego verificarlos y describirlos en campo.

4.3 VISITA DE CAMPO

En esta etapa se hicieron recorridos que cubrían toda la zona de estudio, para obtener información primaria como, fotografías y puntos de zonas de interés. Esta información es plasmada en la libreta de campo en la que se describió; La geología, geomorfología y movimientos en masa que se encontraron en la zona.

Esta información se codificó en la libreta de campo así:

- Cada estación enumerada en orden.
- Luego, se coloca una letra que identifica el tipo de estación; Geología (A), Geomorfología (B) y Movimiento en masa (C).
- Cada estación tiene; fecha, coordenadas, fotografías y descripción.
- Para las estaciones de movimientos en masa se hace una descripción con la ayuda del formato modificado para inventario de movimientos en masa PMA-CGA (Proyecto multinacional andino: Geociencias para las comunidades andinas). Además del formato también se hace una descripción en la libreta de campo.

De cada tipo de estación se tomaron los datos más representativos. De esta manera se obtuvo una información clara y ordenada que complementa la fotointerpretación.

4.4 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION OBTENIDA

Con base en la información obtenida de campo, se hicieron ajustes y modificaciones de la fotointerpretación que se había hecho previamente.

En estos ajustes, se agregaron datos geomorfológicos como, nuevas unidades que no se encontraban en la fotointerpretación, descripción detallada de los movimientos en masa significativos del área estudiada y algunos datos geológicos como, descripciones de macizos rocosos y datos estructurales. Estos incluyen ajustes de límites de unidades cartografiadas, verificación o cambio del nombre de algunas unidades y clasificación definitiva de unidades geomorfológicas. Así obtenemos un mapa de unidades morfogenéticas.

4.5 REALIZACION DE MAPAS FINALES

La realización de mapas finales se hizo con la ayuda de Sistemas de información Geográfica, en este caso con el Software ArcGIS 10.2.2, en el cual se interpretaron; mapas de pendientes, modelos de sombras, imágenes satelitales y



la información primaria obtenida en campo para de esta manera obtener un producto final.

Para el caso del mapa geológico, se realizó con la Geología de la plancha 171, INGEOMINAS, a escala 1:100.000 y los datos obtenidos en campo, en este caso fue necesario realizar perfiles geológicos que permitieron entender mejor la geología presente en esta zona.

Para el mapa geomorfológico se utilizó; la fotointerpretación preliminar, junto con los datos obtenidos en campo, esto permitió delimitar las unidades geomorfológicas a la escala deseada con una óptima calidad topológica de los diferentes polígonos.

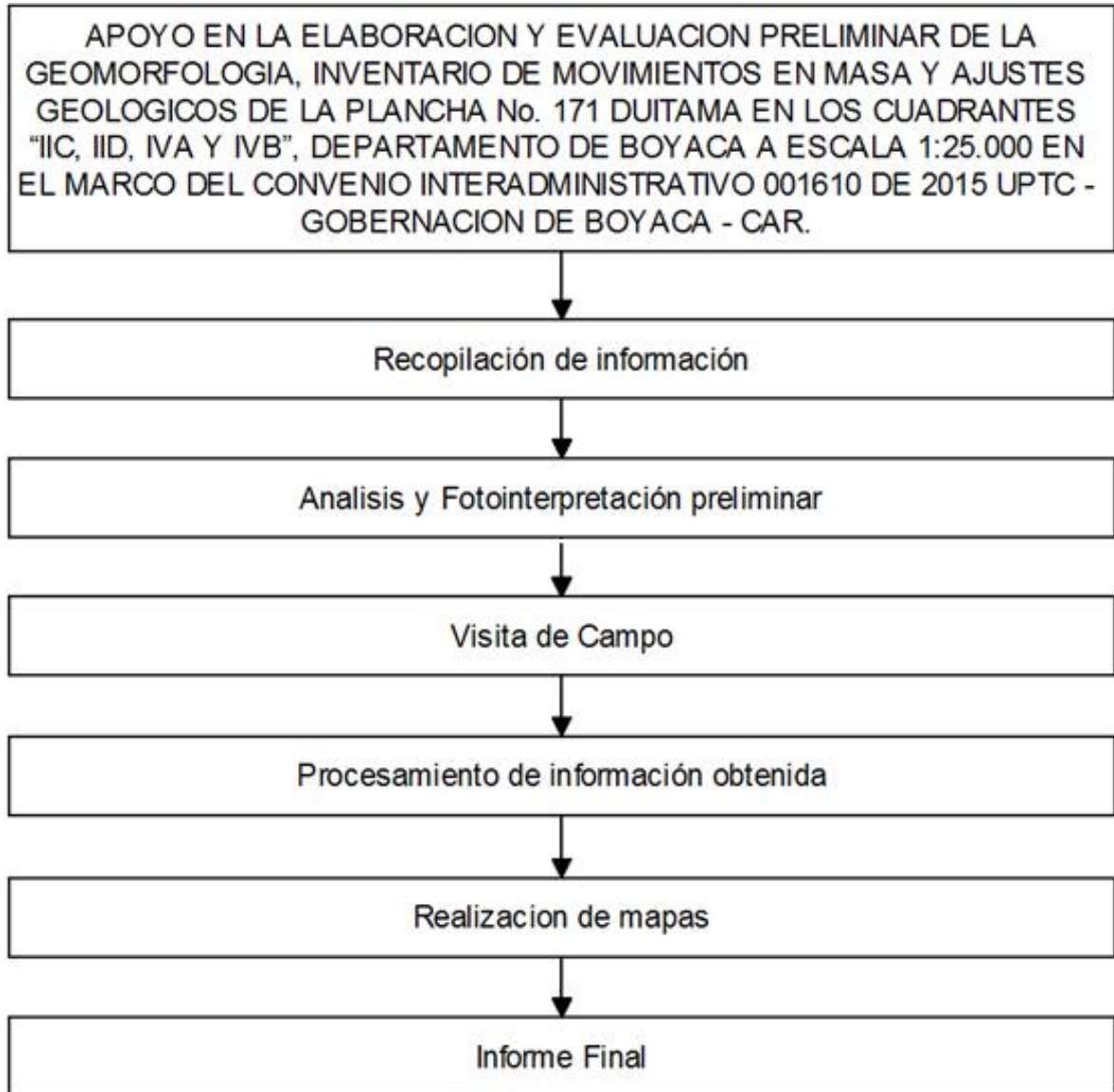
Luego se realizó un mapa Morfodinámico a partir de: un modelo digital de elevación, el mapa morfogenético con unidades de suelo calificadas y los polígonos de los movimientos en masa.

Por último, se construyeron las tablas de atributos para cada caso y con la ayuda de estas se hizo la leyenda del mapa según la cual se realizó el informe.

4.6 INFORME FINAL

El informe final muestra los resultados obtenidos de cada una de las etapas del proyecto, allí es donde podemos ver la descripción de cada una de las unidades geológicas y geomorfológicas. Este constituye una guía para la comprensión de los diferentes mapas.

Figura 1. Esquema Metodología.

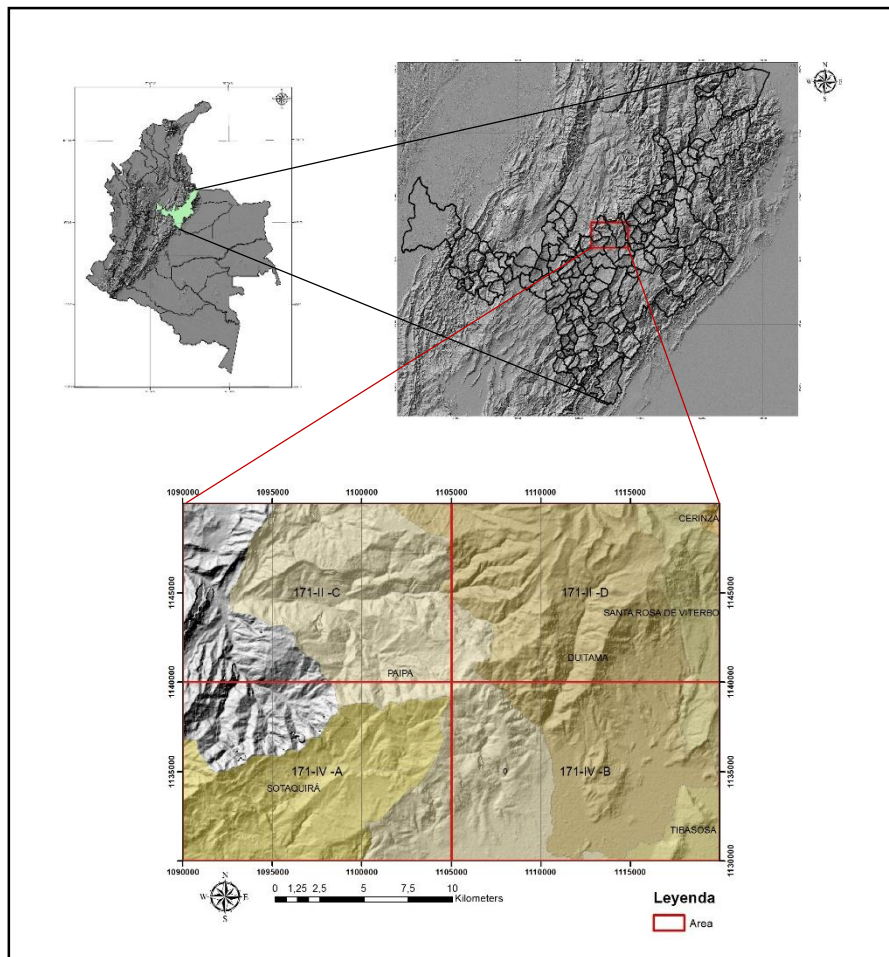


5 GENERALIDADES

5.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA

La zona de estudio se localiza dentro de las cabeceras municipales de Duitama, Paipa y el corregimiento de Palermo. En los cuadrantes a escala 1:25.000 del IGAC 171-II-C, 171-II-D, 171-IV-A y 171-IV-B, los cuales cubren un área de 600 Km². (Ver figura 2).

Figura 2. Localización de la zona de estudio.



5.3 CLIMA

El Clima se considera como uno de los factores formadores del paisaje, por lo cual, su análisis es muy importante, ya que los factores que lo componen determinan su distribución espacial local y su correspondiente reflejo en las unidades de paisaje.²

En el municipio de Duitama, la altura barométrica es de dos mil quinientos cincuenta metros (2.550 metros) sobre el nivel del mar y la temperatura promedio es de 14° centígrados. El promedio anual de la distribución de la precipitación está calculado en 1.128 mm; los períodos de lluvias corresponden estadísticamente a los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre; la temporada seca principalmente corresponde a los meses de junio a agosto y de diciembre a febrero. La humedad relativa es del 81.4 % promedio; los vientos predominantes proceden del sureste y del sur, la velocidad media es de 2.86 y 3.29 m/s, los vientos son más fuertes en julio y agosto; la insolación o brillo solar corresponde a 5 horas promedio por día y de 1820 horas anuales de sol.

Según diagnóstico biofísico del municipio de Duitama existen tres grandes zonas climáticas:

Clima frío húmedo:

Se ubica entre los 2.500 y 3.000 m.s.n.m, con una temperatura media de 14.2 grados centígrados. Corresponde a las veredas de Tocogua, San Lorenzo de Abajo, San Lorenzo, Higueras, Quebrada de Becerras, San Antonio Sur y Norte, parte de Surba y Bonza.

Clima muy frío sub páramo seco:

Esta unidad se distribuye entre los 3.000 m.s.n.m. y los 3.600 m.s.n.m. con curvas de isoyetas entre los 1.100 y los 1.500 m.s.n.m y con una temperatura promedio de 8 grados centígrados. Corresponde a las veredas de Avendaños, el Carmen, Santa Ana, Siratá, parte de Norte de la vereda Surba y Bonza.

Clima de páramo seco:

Esta unidad se distribuye entre los 3.600 y 3.800 m.s.n.m. que hace parte de las alturas más representativas del municipio, correspondiente a las veredas de Avendaños y parte norte de Santa Ana, vereda Santa Bárbara. La precipitación

² POT, Duitama, Documento diagnóstico, Capítulo IV, Subsistema Biofísico.

que se presenta en la zona es la correspondiente al curva de isoyeta 1.200 m.s.n.m. y 1.560 m.s.n.m.³

Para el municipio de Paipa tenemos que la cota menor, corresponde a los 2.200 m.s.n.m., se localizó en la Vereda El Venado y en los alrededores del corregimiento de Palermo; a su vez, la máxima cota de 3.500 m se ubicó en la cuchilla Cerro Las Cruces, jurisdicción de la Vereda Rincón de Españoles. Lo anterior significa que la mayor parte del municipio se sitúa entre 2.200 y 3.000 m, esto es, el piso térmico frío, según la denominada clasificación de Caldas. Sólo un pequeño sector, correspondiente a las veredas Rincón de Españoles y Medios, se eleva entre los 3000 y 3500 m.s.n.m determinando el piso altitudinal muy frío o subparamuno.⁴

El área se clasificó con el modelo digital de elevación, para identificar, los diferentes pisos térmicos. (Ver tabla 1 y Figura 4).

Tabla 1. Clasificación pisos térmicos.

CLIMA	ALTURA (msnm)
Templado	1500-2000
Frío	2000-2500
Muy Frío	2500-3000
Semipáramo	3000-3500
Páramo	> 3500

Fuente. Ideam

³ <https://es.wikipedia.org/wiki/Duitama#Clima>

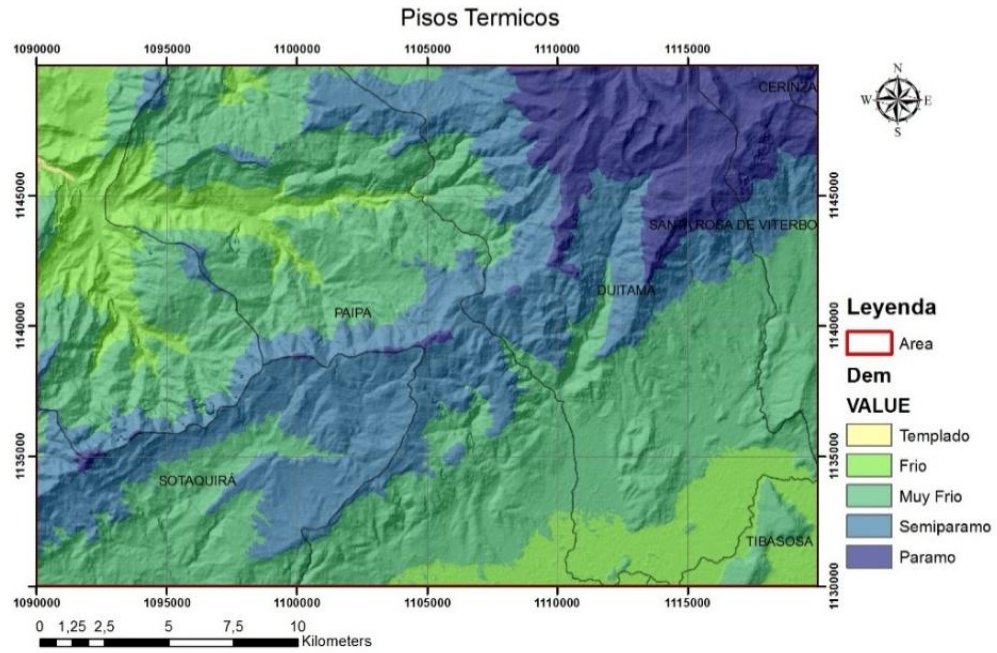
⁴ [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pot%20-%20paipa%20-%202_biofisico%20\(97%20pag%20-%202230%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pot%20-%20paipa%20-%202_biofisico%20(97%20pag%20-%202230%20kb).pdf)



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



Figura 4. Pisos térmicos de la zona de estudio.





6 GEOLOGIA

6.1 ESTRATIGRAFIA

El área de estudio se sitúa en la parte central de la cordillera oriental cubriendo un área de 600 Km², de las planchas a escala 1:25000 171-II-C, 171-II-D, 171-IV-A y 171-IV-B del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), en las cuales encontramos unidades geológicas del paleozoico, mesozoico, cretáceo, terciario y cuaternario.

6.1.1 PALEOZOICO

6.1.1.1 Formación Cucho (Cc)

En 1946 G. Botero R. dio este nombre a una sucesión de “argilitas y areniscas” de tonos rojo-violeta a amarillo-crema con espesor entre 300 y 400 m, discordante sobre la Formación Floresta (Devoniano medio). Un fósil, *Palaeoneilo sulcatina* (Conrad), encontrado cerca de la base, sugirió una edad Misisipiano inferior; sin embargo, la edad de la formación fue extendida por susodicho autor a todo el Permo-carboniano con base en correlaciones con conjuntos de litología similar más fosilíferos. Se reconocen capas correlacionables a esta formación, en los afloramientos del área Duitama – Tibasosa, donde es fácilmente apreciable la fosilización de los pliegues que afectan estas capas, por el Miembro conglomerático basal (Kit4) de la Formación Tibasosa (cretácea).⁵

Esta unidad se aprecia en laderas continuas a la vereda Cucho y al lado de la vía Tibasosa – Duitama, entre los sectores conocidos como puerto arepas y al frente de Bavaria, en donde se aprecia una sucesión de areniscas cuarzosas y argilitas de colores rojo-violeta y amarillo-crema. (Ver Fotografía 1).

⁵ GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 171 DUITAMA, ESCALA 1:100.000 Boletín Geológico Volumen 24 N.º 2 Bogotá, 1976 Ministerio de Minas y Energía Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Fotografía 1. Formación Cuche, junto al valle de Duitama.



6.1.2 MESOZOICO

6.1.2.1 Formación Palermo (Trjp)

Descrita en los alrededores de Palermo, sin que se haya determinado la base, se calculan 530 m de espesor; la parte más baja, que afloran por el Río Huertas entre Palermo y Gambita está constituida, por un conglomerado con guijos de areniscas rojas de pocos metros de espesor y por un nivel de unos 50 m de shales negros. La parte restante, que aflora subiendo de Palermo por la Quebrada Las Varas, consta de una sucesión de areniscas de grano fino a medio con tintes; rojizos, verdosos y violáceos hasta el techo. No se encontraron fósiles. Subyace a la Formación Montebel. Se supone que sea mesozoica.⁶ (Ver Fotografía 2).

⁶ GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 171 DUITAMA, ESCALA 1:100.000 Boletín Geológico Volumen 24 N. ° 2 Bogotá, 1976 Ministerio de Minas y Energía Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Fotografía 2. Formación Palermo cerca al corregimiento del mismo nombre.



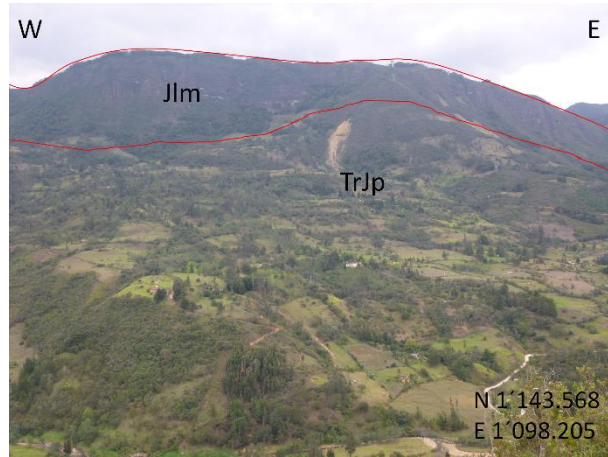
6.1.2.2 Formación Montebel (Jlm)

Los geólogos de la Shell así llamaron unas capas arcillosas negras de unos centenares de metros, que afloran en el área de Montebel. Consta de 100 m de shales negros, alternando con limolitas gris-verduscas; 40 m de shales negros; 200 m de limolitas ocre a rojizas con intercalaciones de areniscas arcillosas grises, blancuzcas y ocre (este nivel está un poco cubierto); siguen 66 m de limolitas gris oscuras con restos de vegetales y lamelibranchios, intercalaciones de areniscas feldespato-micáceas (según determinación de la Sección de Petrología del Servicio Geológico Nacional), grises, rojizas y verduscas. Subyace a la Formación La Rusia. Se considera del Triásico superior.⁷

Esta formación se encuentra en los alrededores de Palermo, en las laderas de los cerros del anticlinal de arcabuco, conformada por arcillolitas y shales negros intercalados con limolitas, y en menor proporción areniscas arcillosas. Su espesor llega a tener entre 300 y 400 metros. (Ver Fotografía 3).

⁷ GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 171 DUITAMA, ESCALA 1:100.000 Boletín Geológico Volumen 24 N. ° 2 Bogotá, 1976 Ministerio de Minas y Energía Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Fotografía 3. Formación Montebel sobre la formación Palermo



6.1.2.3 Formación La Rusia (Jru)

Esta formación aflora principalmente en el páramo de la Rusia, por el carreteable que conduce a las torres transmisoras del Ejército Nacional, consta de 55 m basales de arenisca conglomerática blanca y verde, 92 m de alternancia de arenisca verde fina con arenisca conglomerática verdusca; 100 m de alternancia de arenisca verde fina con arenisca conglomerática blanca, y lentes de arcilla hacia la parte alta; 89 m de arenisca conglomerática blanca con intercalaciones de arenisca conglomerática de color rojo; 256 m de arenisca conglomerática y arenisca fina de color rojo; estas capas presentan estructuras internas tipo estratificación entrecruzada; 90 m de areniscas de varios colores intercaladas por limolitas rojas y verdes. El espesor promedio de los estratos, a lo largo de toda la formación, es superior al metro. El espesor total es de 682 m. No se encontraron fósiles. Por el camino que de Palermo conduce a Paipa, se observó una sucesión, constituida por: 80 m de arenisca rojizo-blancuzca y limolitas gris-verdosas con alteración amarilla-ocre; 200 m de arenisca conglomerática, conglomerado y arenisca de color blanco a rojiza (con estructuras de estratificación cruzada); 64 m de arenisca a veces feldespató-micácea, fina, roja con intercalaciones de conglomerado y arenisca conglomerática y de limolitas rojizas. Espesor total: 344 m. No se encontraron fósiles.⁸

⁸ GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 171 DUITAMA, ESCALA 1:100.000 Boletín Geológico Volumen 24 N. ° 2 Bogotá, 1976 Ministerio de Minas y Energía Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Las dos sucesiones tienen por subyacente la Formación Montebel y por suprayacente la Formación Arcabuco, por lo tanto, debido a la similitud Litológica, existe un acuñamiento de la misma formación hacia el sur. De la edad sólo se puede decir que pertenece a un jurásico post-Lías superior. (Ver Fotografía 4).

Fotografía 4. Rocas de la formación “La Rusia”, en el páramo.



6.1.2.4 Formación Arcabuco (Jar) y su miembro del techo (Jart)

El nombre y rango de formación fueron escogidos por A.A. Olson. La formación está constituida por capas de arenisca cuarzosa blanca con intercalaciones de shales rojos, que a veces llegan a formar niveles de 10 a 50 m de grueso; su espesor varía: mide 520 m en el camino entre Palermo y Paipa y tiene unos 300m aproximadamente entre Paipa y Los Medios. La cubre concordantemente un miembro de 83 m (Jart). No se encontraron fósiles. La presencia del Miembro del Jart, solo en unas áreas, unida al adelgazamiento de la formación que hasta llega a desaparecer sobre el cercano Macizo de Floresta, en dirección este-sureste, prueba un periodo de erosión post-Arcabuco o no depositación en esta misma dirección; es probable que en esta desaparición haya jugado un papel importante la falla de Boyacá.⁹

Esta formación forma los flancos del anticlinal de Arcabuco y marca el final de la sedimentación continental del jurásico y da inicio a la depositación de unidades de ambientes marinos del cretáceo. (Ver Fotografía 5).

⁹ GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 171 DUITAMA, ESCALA 1:100.000 Boletín Geológico Volumen 24 N. ° 2 Bogotá, 1976 Ministerio de Minas y Energía Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Fotografía 5. Rocas de la formación “Arcabuco”.



6.1.3 CRETACEO

6.1.3.1 Formación Cumbre (Kic)

Aflora de manera restringida, en el flanco occidental del sinclinal de los Medios, al occidente del área urbana de Sotaquirá, por la vía que conduce al alto del Salitre vía a San Pedro, poco expuestas como una delgada franja de areniscas blancuzcas. La Formación Cumbre, de edad Valanginiano, está ubicada estratigráficamente sobre la Formación Arcabuco (Jurásico superior) e infrayaciendo a la Formación Rosablanca (Valanginiano-Hauteriviano); está compuesta por una sucesión potente de areniscas cuarzosas de color gris claro con intercalaciones de arcillolitas y shales piritosos, que se hacen más frecuentes cerca del límite con la Formación Rosablanca (techo de la unidad). La Formación Cumbre fue depositada en un ambiente marino transicional, que marca el inicio de la transgresión marina en el Cretácico inferior.¹⁰

6.1.3.2 Formación Rosablanca (Kir)

En 1929, O. C. Wheeler dio el nombre y rango a esta formación. Aflora de manera restringida en el municipio de Sotaquirá, al occidente del área urbana, por la vía a San Pedro. La Formación Rosablanca está compuesta en su mayoría por estratos

¹⁰ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha

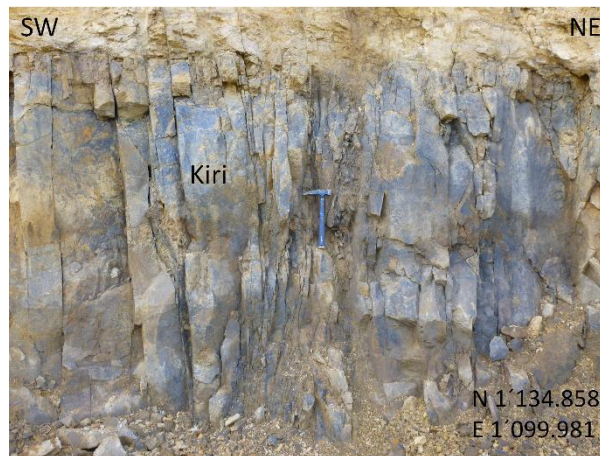
potentes (1m) de calizas limpias con algún registro fosilífero, de color gris claro y con algunas intercalaciones esporádicas de shales negros, que alcanzan hasta 3m de espesor. Su edad corresponde al Valanginiano-Hauteriviano (Cretácico inferior) y estratigráficamente, se ubica sobre la Formación Cumbre (Valanginiano) y bajo la Formación Ritoque (Hauteriviano superior).¹¹

6.1.3.3 Formación Ritoque (Kiri)

Fue nombrada así por F. Etayo. Esta formación se encuentra conformando el núcleo del sinclinal de los medios, en la vereda del mismo nombre del municipio de Sotaquirá, se encuentra compuesta por una sucesión de limolitas grises, amarillentas a rojizas por procesos de meteorización, arcillolitas gris oscuro y unos pocos bancos de calizas a veces lumaquelicas. En las calizas se encuentran fósiles equinidos, trigonias y amonitas.

Yace concordantemente sobre la Formación Rosablanca en el área noroccidental, sobre la Formación Cumbre, en los alrededores de Arcabuco y sobre la Formación Arcabuco en la serranía homónima. Esto demuestra el ulterior ensanchamiento de la cuenca cretácea.¹² (Ver Fotografía 6).

Fotografía 6. Rocas de la formación “Ritoque”.



¹¹ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha CORPOBOYACÁ, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales

¹² GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 171 DUITAMA, ESCALA 1:100.000 Boletín Geológico Volumen 24 N.º 2 Bogotá, 1976 Ministerio de Minas y Energía Instituto Colombiano de Geología y Minería.

6.1.3.4 Formación Los Medios

Esta formación aflora en la vereda los Medios, del municipio de Paipa y forma los flancos del sinclinal del mismo nombre, esta se divide en dos miembros. (Ver Fotografía 7).

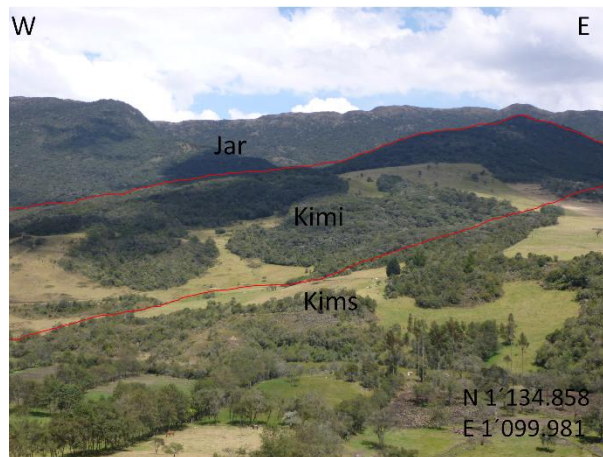
6.1.3.4.1 Miembro conglomerático inferior (Kimi).

Por el carretable que conduce de Paipa a Palermo, se observan capas de conglomerado (con guijos de arenisca cuarzosa similar a la de la Formación Arcabuco), de arenisca conglomerática y de limolitas (con restos de equinidos) con un espesor de 120 m aproximadamente. La parte conglomerática pasa lateralmente a arenisca. No se encontraron amonitas. Este miembro yace sobre la Formación Arcabuco y se acuña hacia el occidente.¹³

6.1.3.4.2 Miembro limolítico superior (Kims).

Compuesto principalmente por limolitas de color gris oscuro a negro, con algunos restos de equinoideos. Suprayace al Miembro conglomerático inferior y está ubicada estratigráficamente bajo la Formación Tibasosa y aflora por la vía de Paipa a Palermo.

Fotografía 7. Distribución de formaciones Geológicas Vereda Carrizal, Municipio de Sotaquirá.

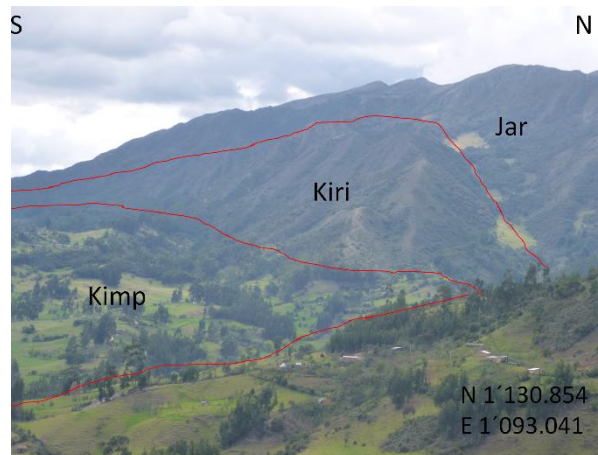


¹³ GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 171 DUITAMA, ESCALA 1:100.000 Boletín Geológico Volumen 24 N. ° 2 Bogotá, 1976 Ministerio de Minas y Energía Instituto Colombiano de Geología y Minería.

6.1.3.5 Formación Paja (Kimp)

Aflora en el flanco occidental de la cuenca, en la continuación sur del sinclinal de los Medios, en la cuenca el río Piedras, y en el municipio de Motavita. La Formación Paja está compuesta por shales negros a gris oscuro intercalados con arcillolitas abigarradas y en menor proporción con capas delgadas de areniscas de grano fino. Esta unidad suprayace a la Formación Ritoque (Hauteriviano superior) y se ubica estratigráficamente bajo la Formación San Gil inferior (Albiano inferior) y, su edad es Barremiano-Aptiano.¹⁴ (Ver Fotografía 8).

Fotografía 8. Distribución formaciones Geológicas cerca de la cabecera del Municipio de Sotaquirá.



6.1.3.6 Formación Tibasosa

Esta nueva formación se observa a la entrada al municipio de Tibasosa y subiendo desde el cementerio por la Quebrada Guadube y en los alrededores de Toledo, por las quebradas Naranjos y Capellanía. En la zona de estudio se encuentra en la parte sur este, allí se encuentra la mina a cielo abierto San Antonio de Argos, de la cual se extrae caliza.

La formación consta de: un Miembro basal (Kit4), de conglomerado heterogéneo mal calibrado (en la pura base), seguido por conglomerado homogéneo y mejor calibrado, luego por limolitas verdes y moradas y por arenisca a veces conglomerática con estratificación entrecruzada; un Miembro calcáreo inferior

¹⁴ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha CORPOBOYACÁ, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales

(Kit3) de shales negros, de caliza más o menos arenosa y de arenisca; encontramos amonitas, equinodermos y lamelibranquios, un Miembro arenáceo intermedio (Kimt2) de shales grises oscuros y areniscas en el cual no encontramos fósiles; y un Miembro calcáreo superior (Kmt1) así compuesto: una parte inferior de shales grises oscuros, de caliza lumaquérica rica en equinidos y ostreas y de arenisca, y una parte superior de shales negros de unos 50 m de espesor. La Formación Tibasosa yace discordantemente sobre la Formación Cucho y concordantemente por debajo de la Formación Une (Albiano superior – Cenomaniano en este cuadrángulo). La formación tiene un espesor total que disminuye en sentido sur-norte, es decir hacia el Macizo, de 574 a 355 m.¹⁵ (Ver Fotografía 9).

Fotografía 9. Cantera abandonada de la formación Tibasosa, Miembro Kit 4.



6.1.3.7 Formación Une (Kv2)

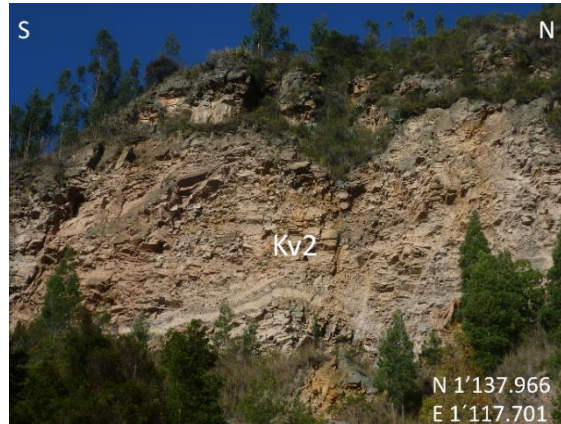
Se ha descrito como una sucesión de 510 m, constituida por arenisca blancuzca a amarillenta, con cemento silíceo o ferruginoso, de grano medio a grueso, localmente conglomerática, con gruesas capas intercaladas por shales negros más frecuentes hacia el techo. No se consiguieron fósiles. Yace concordantemente sobre el Kmt1 en Tibasosa. (Col. Soc. Petr. Geol & Geophys, Third Field Conference, 1961)

En la zona de estudio, aflora en la vía que conduce de Duitama a Santa Rosa de Viterbo, en donde hay canteras en las cuales se extrae material. Se correlaciona con la parte superior de la Formación San Gil superior y posiblemente con la

¹⁵ GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 171 DUITAMA, ESCALA 1:100.000

arenisca basal del Grupo Churuvita, su edad es Cenomaniano. (Ver Fotografía 10).

Fotografía 10. Rocas de la formación Une.



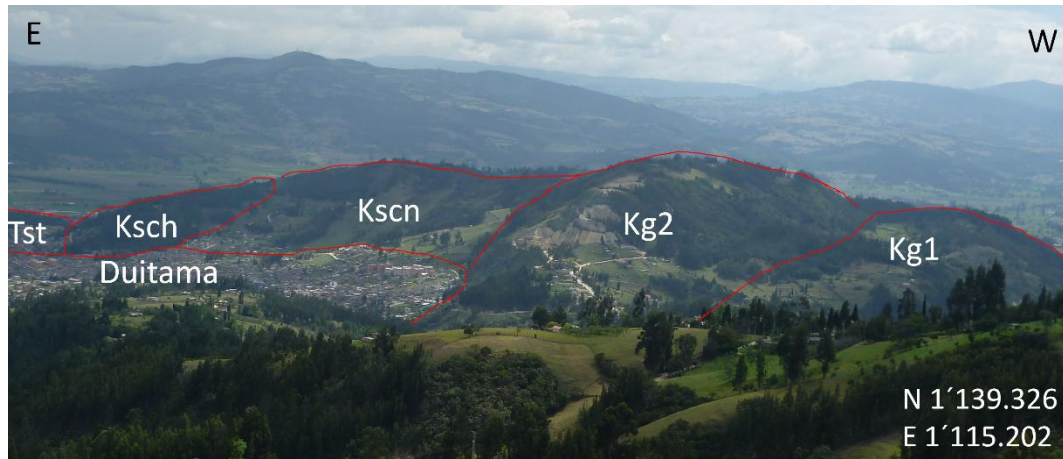
6.1.3.8 Grupo Churuvita (Ksch)

Las rocas de este grupo afloran de manera restringida en los alrededores de la Ciudad de Duitama, y al suroriente del área urbana de Paipa, expuesta a manera de parches en estructuras de plegamiento muy intenso y que parcialmente han sido afectadas por las intrusiones de las rocas andesíticas de Paipa, asociadas al volcanismo terciario cuaternario.

Está conformada por areniscas cuarzosas, lutitas negras, calizas en proporciones variables y limolitas silíceas hacia el tope de la Formación. La edad del Grupo Churuvita es Cenomaniano -Turoniano con base en sus relaciones estratigráficas (F. Etayo); suprayace a la Formaciones San Gil superior y Une (Cenomaniano) e infrayace a la Formación Conejo (Coniaciano - Santoniano). Está compuesta en la base por areniscas cuarzosas con intercalaciones de shales negros y algunas capas de caliza; en la parte superior no se encuentran las areniscas, y la sucesión está compuesta por limolitas silíceas, shales y algunos niveles calcáreos.¹⁶ (Ver Fotografía 11).

¹⁶ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha CORPOBOYACÁ, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales

Fotografía 11. Distribución de formaciones Geológicas, Municipio de Duitama.



6.1.3.9 Formación Conejo (Kscn)

Las rocas de esta Formación afloran de manera amplia al sur de la Ciudad de Duitama, y en los alrededores del Lago Sochagota, al suroriente del área urbana de Paipa, expuesta a manera de parches en estructuras de plegamiento muy intenso y que parcialmente han sido afectadas por las intrusiones de las rocas andesíticas de Paipa asociadas al volcanismo terciario cuaternario.

Suprayace al Grupo Churuvita y se ubica estratigráficamente bajo la Formación Plaeners del Grupo Guadalupe; está compuesta principalmente por shales carbonosos y silíceos de color gris oscuro a negro, con algunas intercalaciones de areniscas silíceas de grano fino. Niveles de lutitas de color grisáceo oscuro y algunos niveles de areniscas cuarzosas (con alto contenido de cuarzo). Su edad es Coniaciano-Santoniano según Renzoni, (1967); en este mismo trabajo se menciona un segmento superior arenoso con intercalaciones de niveles calcáreos y arcillosos, que según los autores podría corresponder a la Formación Arenisca Dura en la cuenca de la Sabana de Bogotá.¹⁷

6.1.3.10 Formación Plaeners (Kg2)

Afloran al suroriente de Paipa en el sector de El Durazno y en los alrededores de la Ciudad de Duitama; en el Sector de Paipa, sobre el carretable que conduce a

¹⁷Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha

Quebrada Honda, se compone de unos 100 m de arcillas grises a blancuzcas un poco caoliniticas y chert. Las rocas de esta formación son ricas en foraminíferos y vértebras y escamas de peces. Está compuesta principalmente por limolitas silíceas, niveles de chert, shales y arcillolitas caolínicas y en menor proporción, capas de fosforitas y areniscas cuarzosas. Se encuentra estratigráficamente encima de la Formación Conejo y bajo la Formación Labor y Tierna del Grupo Guadalupe. La edad de esta unidad se estima como Campaniano debido a su posición estratigráfica y los fósiles reportados en Renzoni, (1967).¹⁸

6.1.3.11 Formación Labor y Tierna (Kg1)

Afloran al suroriente de Paipa en el sector de El Durazno, y en los alrededores de la Ciudad de Duitama. La Formación Labor y Tierna está ubicada estratigráficamente sobre la Formación Plaeners y bajo la Formación Guaduas, transicional entre el Cretácico y el Terciario. Está compuesta por una predominancia de shales de color gris, con intercalaciones de areniscas de grano medio a grueso y hacia el tope, una predominancia de cuarzoarenitas en capas gruesas muy similares a la Formación Tierna del Grupo Guadalupe en la Sabana de Bogotá. La edad de esta Formación se calcula como Maastrichtiano por su relación estratigráfica.¹⁹ Entre Duitama y el sector conocido como la trinidad, existen canteras de esta formación de las cuales se extraen materiales de construcción, de allí nace la importancia económica de esta formación (Ver Fotografía 11).

6.1.3.12 Formación Guaduas (Ktg)

En la zona de estudio esta formación se localiza en los alrededores de Paipa, se encuentra constituida por arcillolitas grises oscuras negras a verdosas con intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino, estratificación fina a gruesa; areniscas cuarzosas blanco amarillentas de grano fino friables; arcillolitas grises y limolitas negras con concreciones arenosas, con algunas intercalaciones de areniscas friables cerca de la base se presenta un manto de carbón de 1.5 m de espesor; areniscas conglomeráticas y areniscas cuarzosas, blancas de grano

¹⁸ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha CORPOBOYACÁ, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales

¹⁹ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha

medio a grueso; arcillolitas abigarradas con intercalaciones delgadas de areniscas cuarzosas, grises oscuras de grano fino.

La Formación Guaduas marca la transición entre la sedimentación netamente marina del Cretácico y la predominantemente continental presente durante el Terciario; fue depositada en ambientes sedimentarios que van de marinos transicionales a lagunares y de ríos. Según Van der Hammen (1958), la edad de la parte basal de esta unidad es Maastrichtiano (Cretácico Superior) mientras que el tope correspondería al Paleoceno (Terciario).²⁰

Esta formación se localiza al norte de Paipa, aunque se encuentra perturbada por los efectos de la falla de Boyacá.

6.1.4 Terciario

6.1.4.1 Formación Tilata (Tst)

Se conoce como el bajo estructural, en la depresión del Chicamocha entre las ciudades de Tunja y Duitama. Litológicamente está compuesta por capas de gravas y conglomerados macizos con clastos de andesitas en el sector de Olitas al sur de Paipa, intercaladas con arcillolitas vari-coloreadas, areniscas silíceas de grano fino a grueso color blanco a gris rojizo y algunos niveles carbonosos delgados; su contacto inferior es discordante sobre todas las formaciones ubicadas entre la Formación Bogotá y la Formación Une. Su edad es Plio-Pleistoceno según Van Der Hammen, (1958).

Esta unidad se diferencia muy bien a lo largo de la cuenca del río Chicamocha y por la vía que de Tunja conduce a Duitama, siendo claramente diferenciable por su contacto neto entre los niveles arcillosos inferiores y las gravas y conglomerados. Con relación a la unidad estratigráfica Formación Bogotá, La Formación Tilatá presenta un ambiente fluvial predominante. Por sus características litológicas la Formación Bogotá y las Formación Tilatá, se relacionan por su utilidad en la industria de la construcción de los niveles arcillosos

²⁰ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha CORPOBOYACÁ, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales

disectados por la presencia de ambientes fluviales en la cuenca alta del río Chicamocha. ²¹ (Ver Fotografía 12).

Fotografía 12. Formación Tiltatá, al sur del municipio de Paipa.



6.1.5 CUATERNARIO

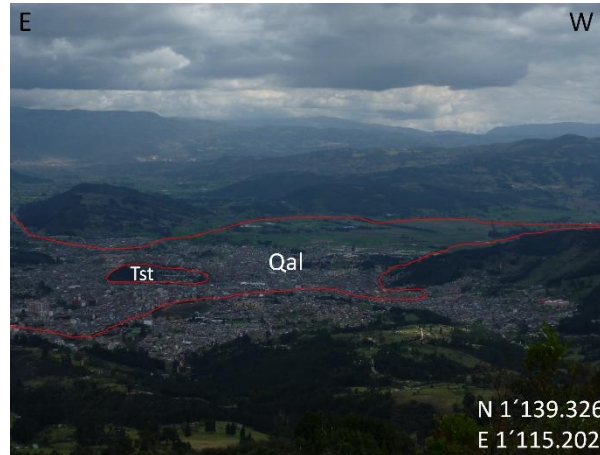
6.1.5.1 Depósitos Aluviales (Qal)

Son los depósitos Cuaternarios más abundantes en la zona y están asociados a las principales corrientes de los Ríos Jordán, Sotaquirá, Chicamocha, valle de Vargas, Surba entre otros. Están compuestos por arenas de tamaño de grano variable, arcillolitas de color gris oscuro a negro, limolitas y en algunos casos niveles conglomeráticos.

Los depósitos aluviales están compuestos por gravas y arcilla limosa lacustre; depósitos que dan una topografía relativamente plana, de forma alargada, paralelos a la corriente de un río o quebrada. Los depósitos aluviales se ubican hacia las márgenes de los drenajes principales y consisten de bloques redondeados a subredondeados, principalmente de arenitas, en una matriz areno arcillosa. Presentan una morfología plana, en especial a lo largo del río Chicamocha. (Ver Fotografía 13).

²¹ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha CORPOBOYACÁ, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales

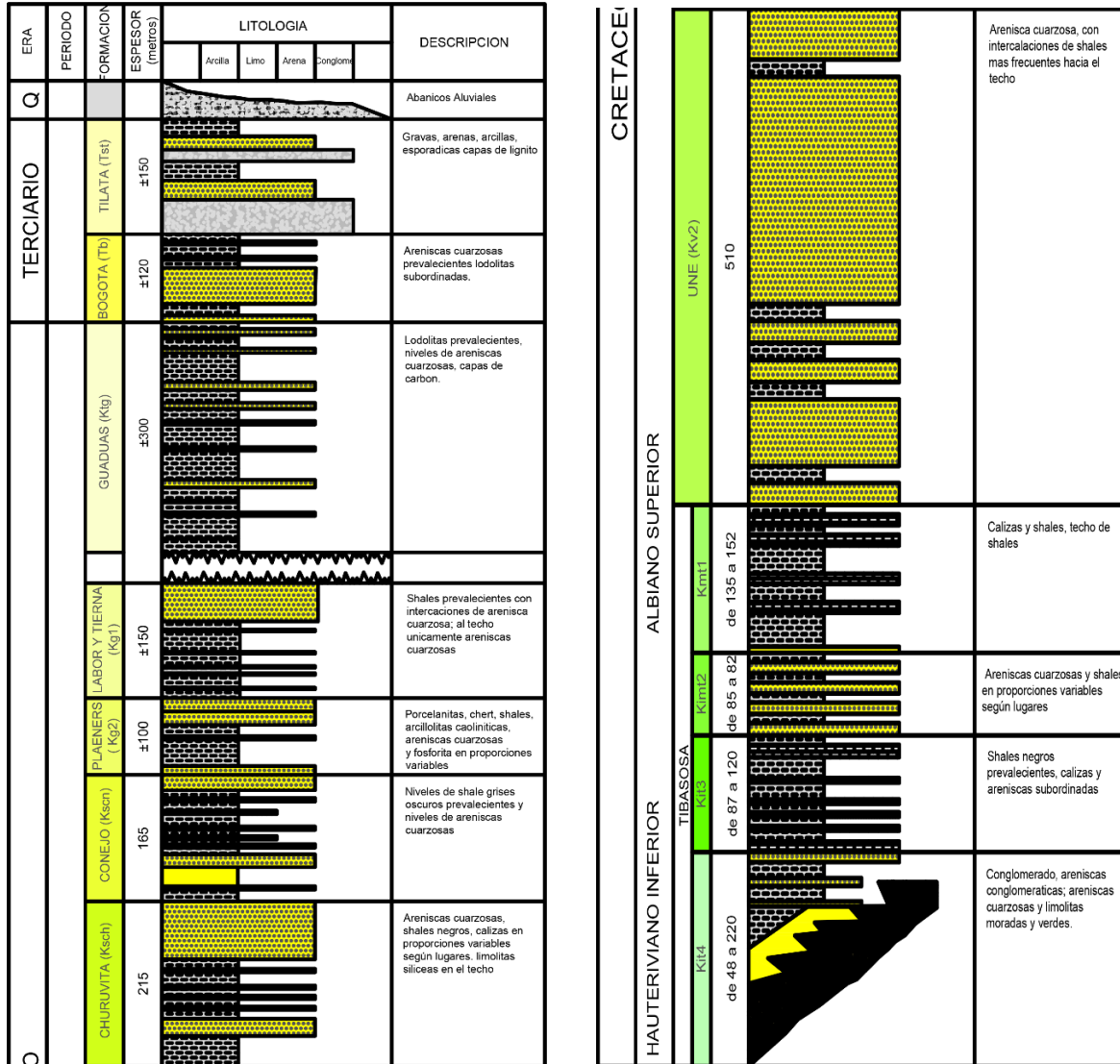
Fotografía 13. Depósito Aluvial, municipio de Duitama.



6.1.5.2 Abanicos Aluviales (Qa)

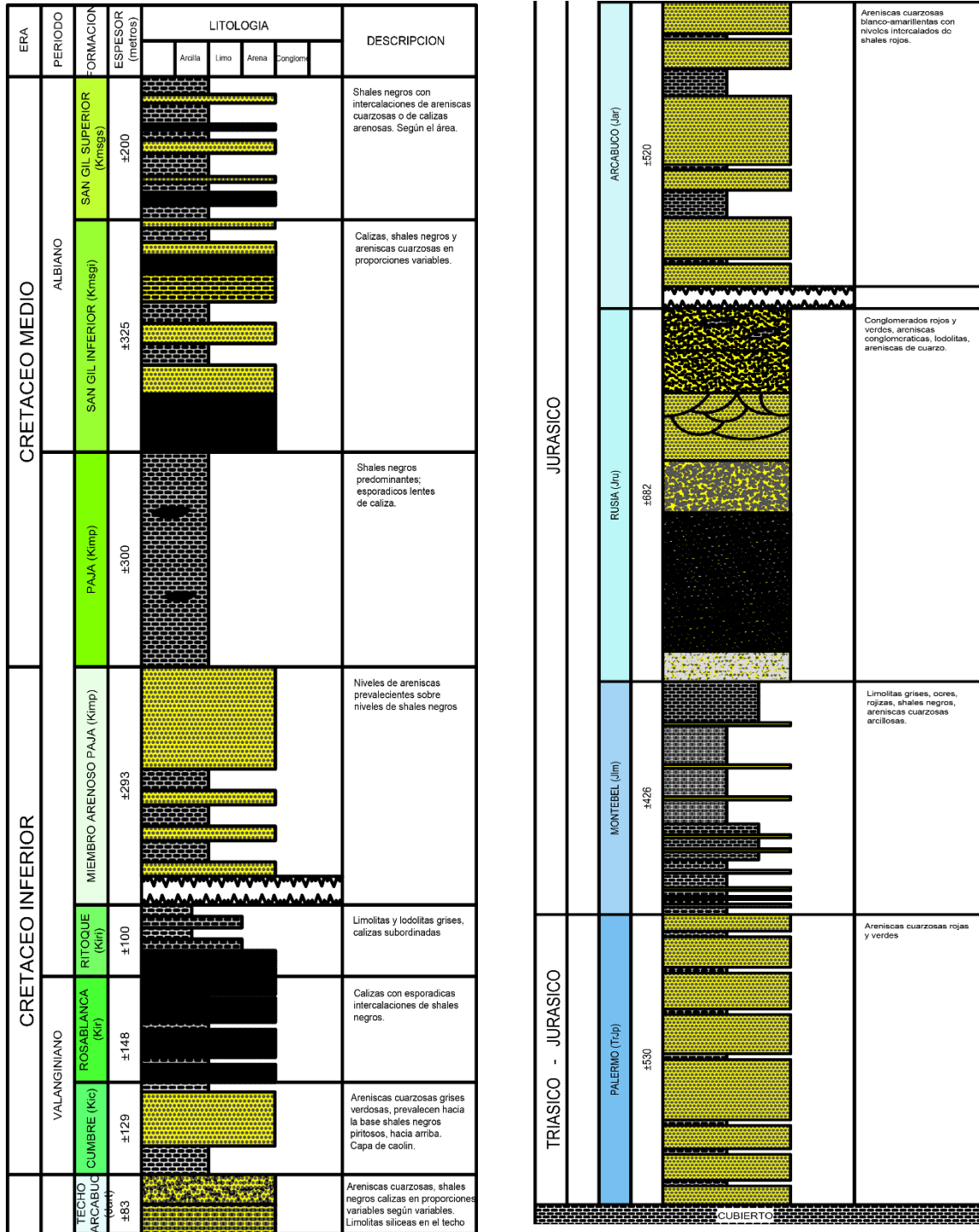
Este tipo de depósitos están ubicados en el Piedemonte, provenientes de la erosión de las rocas Jurásicas y Cretácicas del páramo de la Rusia, depositados en los alrededores de la ciudad de Duitama, asociados a los ríos Suba y Chiticuy que corresponden a depósitos fluviales, en zonas de grandes cambios de pendiente, en los que tanto la energía de la corriente que transporta la carga sedimentaria como la pendiente, disminuyen y dan paso a una acumulación de materiales de grano grueso (tipo grava) principalmente. La Ciudad de Duitama se ubica sobre grandes depósitos de abanicos aluviales del sistema fluvial del río Surba.

Figura 5. Columnas estratigráficas 1.



Fuente. Tomado de Memoria explicativa Plancha 171. Digitalizado por Autor.

Figura 6. Columnas estratigráficas 2.



Fuente. Tomado de Memoria explicativa Plancha 171. Digitalizado por Autor.

6.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Cuando se han formado las rocas, sufren deformaciones causadas por procesos geológicos, entre los cuales tenemos las fuerzas que originan la tectónica de placas. Estas fuerzas someten a las rocas y generan pliegues o fallas.

6.2.1 FALLAS GEOLOGICAS

6.2.1.1 *Falla de Boyacá*

La Falla de Boyacá limita estructuralmente dos provincias tectónicamente diferentes: La provincia de Arcabuco, que constituye el bloque colgante de la falla y está dominada por pliegues amplios; la provincia estructural de Paipa, dominada por un sistema de cabalgamiento con sentido SE, que comprende el bloque yacente de la falla. Localmente, la Falla de Boyacá presenta cambios en el rumbo a través de cortos desplazamientos perpendiculares a su rumbo, este tipo de estructuras se denominan falla de desgarre y su función es acomodar desplazamientos diferenciales a lo largo de las fallas, generando zonas de transferencia.

Es una estructura regional de carácter inverso, que discurre al noroccidente del área de estudio, que presenta un rumbo general NE – SW y pone en contacto rocas de edad Jurásico (Formaciones Rusia y Arcabuco) que forman el bloque colgante, con rocas del Cretácico superior (Formaciones Conejo, Plaeners y Labor y Tierna) y Terciarias de las Formaciones Guaduas y Tilotá, que conforman el bloque yacente; es el límite occidental de la Serranía de Arcabuco. La Falla de Boyacá, pone en contacto a la Formación La Rusia con las formaciones Une y Chipaque, y continúa hacia el norte, en el área de la Plancha 152 Soatá, donde pone en contacto a la Formación Montebel y rocas volcánicas de edad triásica-jurásica, con unidades litoestratigráficas del Cretácico Superior, según Vargas et

al. (1981). Dentro de la Plancha 171 Duitama, localizada inmediatamente al occidente, pone en contacto, unidades litoestratigráficas del Jurásico y Cretácico, con unidades del Paleógeno y Neógeno, según Renzoni (1981). La falla está cubierta en gran parte de su trazo por la Formación Tilotá y el depósito Cuaternario Aluvial del Río Chicamocha. Nace en inmediaciones de la localidad El



Manzano y se dirige hacia el NE aumentando paulatinamente su desplazamiento.²²

6.2.1.2 Falla de Sotaquirá

Es una falla satélite a la Falla de Boyacá, de tipo inverso, con dirección NW–SE, cubierta por la Formación Tilatá y el depósito Cuaternario aluvial de los Río Vargas y Sotaquirá. Pone en contacto la secuencia Cretácica superior con las Formaciones Jurásicas Arcabuco, los Medios y Ritoque.²³

6.2.1.3 Falla de Chivatá

Está ubicada en la parte suroccidente del área, cerca al municipio del mismo nombre. Afecta plegando y fallando las Formaciones Conejo, Plaeners, Labor y Tierna del Cretácico superior y las Formaciones Guaduas y Bogotá del Terciario. Según las relaciones de campo, no ha sido posible determinar con certeza la naturaleza de la falla, pero se considera de tipo inverso, con una dirección preferencial NE-SW, paralela a la dirección de la estructura regional. Pone en contacto rocas de la Formación Guaduas, con rocas de la Formación Labor y Tierna. Su traza se puede seguir por el cauce del Río Tuta, en la Vereda Agua Blanca hasta el Alto Los Arenales, donde se fosiliza debajo de los sedimentos de la Formación Tilatá, al parecer continua hasta cercanías del municipio de Paipa. El desplazamiento inverso de esta falla ha sido calculado en más de 500mts.²⁴

6.2.2 ESTRUCTURAS

6.2.2.1 Sinclinal de Los Medios

Es la estructura de plegamiento ubicada, en el municipio de Sotaquirá, afecta rocas Cretácicas de las Formaciones Los Medios (miembros Conglomerático inferior y Limolítico superior), Ritoque y Paja. Está localizado al suroriente de la

²² Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha CORPOBOYACÁ, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales

²³ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha

²⁴ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha

Serranía de Arcabuco. Es un pliegue asimétrico, amplio, con un ángulo de inversión de 100° . Su eje tiene una dirección y cabeceo promedio de ($N40^\circ E$) y respectivamente. En general el pliegue se comporta de forma cilíndrica, está asociado genéticamente con la falla de Boyacá y se dispone de manera paralela a sub-paralela respecto a su trazo.²⁵

6.2.2.2 Anticlinal de Arcabuco

Todo el conjunto corresponde a un bloque tectónico, limitado hacia oriente por la Falla de Boyacá, presenta una dirección $N30^\circ E$ y un plano de falla que buza hacia el occidente, con buzamientos entre 25° y 35° . La Falla de Boyacá pone en contacto a la Formación La Rusia con las formaciones Une y Chipaque; continuando hacia el norte, en el área de la Plancha 152 Soatá, Dentro de la Plancha 171 Duitama, localizada inmediatamente al occidente, pone en contacto, unidades litoestratigráficas del Jurásico y Cretácico, con unidades del Paleógeno y Neógeno, según Renzoni (1981). Es una amplia y larga estructura que se dirige con dirección suroeste-noreste hasta los alrededores de Palermo, donde adquiere una dirección casi oeste-este para desviar a continuación hacia el norte-noreste.²⁶

6.3 EVOLUCION TECTONICA

6.3.1 CÁMBRICO - ORDOVÍCICO (540 – 435 m. a.)

Se presentó una sedimentación de carácter marino, que concluyó con la presencia de fuerzas tectónicas, que plegaron y metamorfizaron las rocas que se habían formado a partir de los sedimentos depositados inicialmente; a este periodo geológico pertenece el basamento del macizo de floresta.

²⁵ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha CORPOBOYACÁ, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales

²⁶ Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha CORPOBOYACÁ, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Centro de Estudios Económicos, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Investigaciones Ambientales

6.3.2 DEVÓNICO - CARBONÍFERO (410 – 295 m. a.)

En este periodo se presentó el ingreso de aguas marinas y hubo una depositación de areniscas, arcillolitas, limolitas, conglomerados y calizas, las cuales conforman la formación Cucho.

6.3.3 TRIÁSICO SUPERIOR (230 – 208 m. a.)

El área que se encontraba por encima del nivel del mar fue erosionada. No existe un registro de depósito litológico para este periodo.

6.3.4 JURÁSICO INFERIOR (208 – 197 m. a.)

En el área movimientos compresionales ocasionados por la actividad tectónica, plegaron, levantaron y fallaron las rocas. De este periodo son las formaciones: Palermo, Montebel, Girón Rusia, y Arcabuco.

6.3.5 BERRIASIANO (114 – 138 m. a.)

El mar subió su nivel, sepultando bajo sus aguas las áreas emergidas.

6.3.6 BERRIASIANO – VALANGIANO (138 – 131 m. a.)

Sedimentación marina en un ambiente de aguas poco profundas.

6.3.7 VALANGIANO – HAUTERIVIANO (131 – 119 m. a.)

La cuenca fue rellenada y las aguas marinas se retiraron, posteriormente se depositaron arcillas, clastos gruesos y calizas, las cuales dieron como resultado el origen de las formaciones; Cumbre, Rosablanca, Ritoque, y Tibasosa.



6.3.8 APTIANO – ALBIANO (119- 113 m. a.)

El área volvió a ser cubierta por las aguas marinas, se depositaron sedimentos finos dando origen a las formaciones: Los Medios (miembro conglomerático y miembro limolítico) y Paja.

6.3.9 ALBIANO – MAESTRICHTIANO (113 – 66 m. a.)

La cuenca sufrió fluctuaciones en el nivel base por relleno de la cuenca y movimientos tectónicos.

6.3.10 MAESTRICHTIANO – CENOMANIANO (113 – 91 m. a.)

Se depositaron los sedimentos de la Formación Areniscas de Une.

6.3.11 TURONIANO - CONIACIANO (91– 88 m. a.)

Se depositaron los sedimentos de las Formaciones Chipaque, Churuvita y Conejo.

6.3.12 SANTONIANO – MAESTRICHTIANO (88– 86 m. a.)

Se depositaron sedimentos en aguas poco profundas con influencia deltaica (Grupo Guadalupe).

6.3.13 LIMITE CRETÁCICO – TERCIARIO (65 m. a.)

Se presentó la depositación de los sedimentos arcillosos y arenosos de la Formación Guaduas, la cual se caracteriza por presentar mantos de carbón.

6.3.14 TERCIARIO (66 – 2 m. a.)

La sedimentación pasó de ser marina a continental, con varios movimientos tectónicos que culminaron con la denominada Orogenia Andina (Evento generado

por las fuerzas de la tectónica de Placas, que dio origen a la formación de la Cordillera de Los Andes). En éste período se depositaron los sedimentos de las denominadas Formaciones: Bogotá, Areniscas de Socha, Arcillas de Socha, Picacho, Concentración y la aparición de rocas ígneas volcánicas andesitas, las cuales intruyen las secuencias cretácica y terciaria.

6.3.15 CUATERNARIO (2 m. a.)

Inicialmente se presenta la depositación de los sedimentos de la Formación Tilatá. Posteriormente, se presentan los procesos de denudación, erosión y traslocación de materiales preexistentes, cuya sedimentación da lugar a los depósitos no litificados que se observan en la Cuenca. Depósitos no litificados, Abanicos Aluviales (Qa), Aluviones (Qal).

6.4 MAPA GEOLOGICO

El mapa geológico, nos muestra la distribución de las diferentes unidades litoestratigráficas, fallas, estructuras, datos estructurales etc. Para la plancha 171, ya se contaba con un mapa a escala 1:100.000, que sirvió de guía para realizar los ajustes geológicos necesarios para poder implementarlo a escala 1:25.000.

Para realizar dichos ajustes se utilizó la plancha 171 Duitama del Ingeominas, Sistemas de información geográfica (SIG), que con la ayuda de un modelo digital de elevación, un modelo de sombras del relieve y una imagen satelital obtenida de Google Earth, permiten en conjunto realizar ajustes de la geología, tales como, la delimitación detallada de depósitos cuaternarios, ajustes de contactos geológicos y nuevos datos estructurales, obteniendo así nuestro mapa.

También se realizaron tres cortes geológicos, con los cuales se pretende entender mejor la distribución de las unidades geológicas, las fallas y estructuras presentes en el área de estudio.

Para la elaboración de los cortes geológicos, se utilizaron los mapas topográficos y el mapa geológico con la ayuda de software como Autocad 2015 y ArcGIS 10.2.2. (Ver Figura 7).

Al final se construyó un bloque diagrama, a partir de los perfiles y el mapa geológico, con la combinación de software como Autocad y Arcscene (Modulo de ArcGIS). (Ver Figura 8).



Figura 7. Mapa Geológico de la zona de estudio.

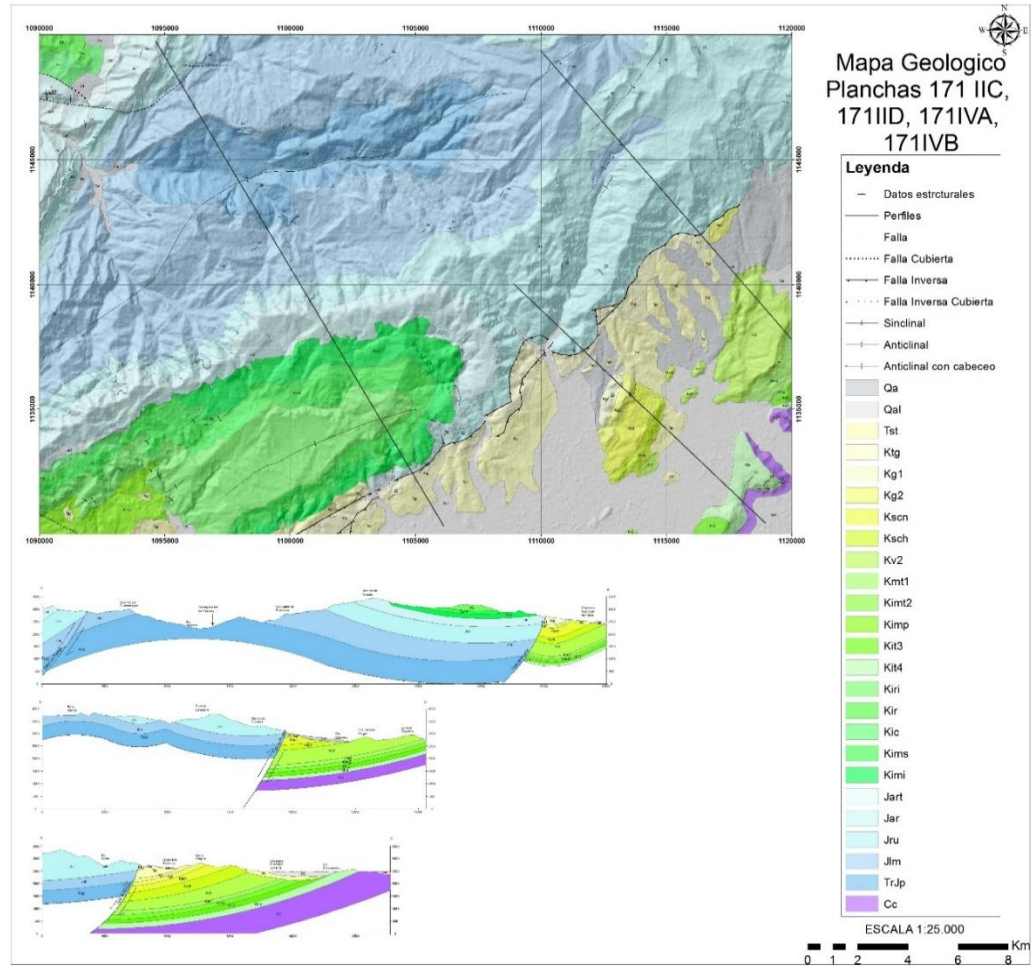
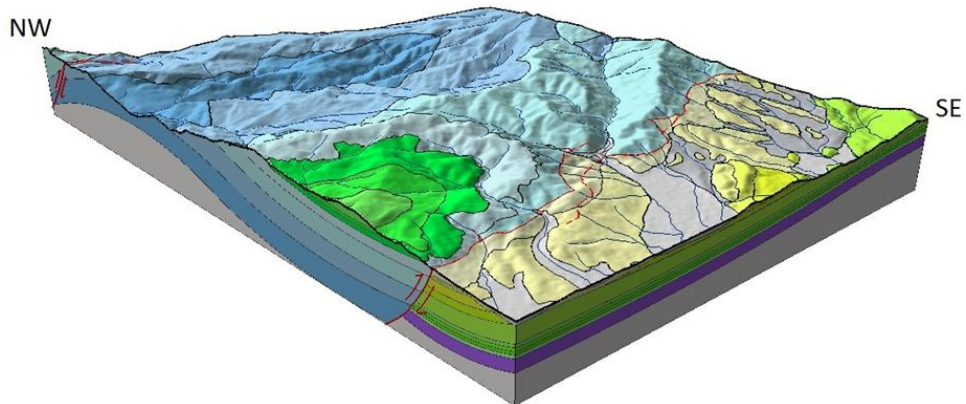


Figura 8. Bloque diagrama.



7 MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre y en la interface entre esta, la hidrósfera y la atmósfera. Así, si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, por otra la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la acción del hombre) actúan sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición más plana. Esto implica que la posibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa comienza desde el mismo momento en que se forma una ladera natural o se construye un talud artificial y que el análisis de tal posibilidad involucra distintas disciplinas de las ciencias de la tierra y del medio ambiente.²⁷

En la zona de estudio, aunque no son abundantes existen movimientos en masa que son de importancia, puesto que pueden generar daños ambientales, de infraestructura, vidas de personas etc.

Para este proyecto, se localizaron movimientos en masa dentro de la zona de estudio, primero a través de Google Earth, y luego se verificaban en campo, describiéndolos detalladamente según el formato PMA – GCA (Proyecto multinacional Andino, Geociencias Para Las Comunidades Andinas), para así obtener un inventario de movimientos ordenado y con los parámetros que pide el formato.

Se realizó un inventario de movimientos en masa, que se encuentran anexos al trabajo.

7.1 DILIGENCIAMIENTO DEL FORMATO PMA-GCA

Un inventario de movimientos en masa es un registro ordenado de la localización y las características individuales de una serie de movimientos ocurridos en un área dada.

El formato se divide en 14 categorías, acerca del movimiento en masa. (Ver figura 9).

²⁷ PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO - GEOCIENCIAS Para Las COMUNIDADES ANDINAS (PMA-GCA). 2007. Movimientos en masa en la región andina.



7.1.1 ENCABEZADO

Esta parte del formato incluye el nombre del encuestador, la fecha del reporte del evento, la institución que administra los datos, que para el caso es la UPTC, grupo de investigación de Ingeniería Geológica y gobernación de Boyacá.

7.1.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y DOCUMENTAL DEL EVENTO

En este campo se escribe la localización; esta incluye el departamento, la ciudad y la vereda, las coordenadas geográficas, referentes geográficas; los cuales se refieren a accidentes geográficos como ríos, lomas, quebradas etc. La plancha topográfica sobre la cual se ubica el movimiento y las fotografías aéreas si existen.

7.1.3 ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO

En esta sección definimos la edad del movimiento, que si no se tiene una fecha exacta se puede asumir analizando otros factores como la cobertura del suelo, se continúa con el estado, que puede ser:

Activo: Movimiento en masa que actualmente se está moviendo de manera continua o intermitente.

Reactivado: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable durante un tiempo.

Suspendido: Movimiento en masa que se desplazó en el último periodo de lluvias, pero que en el momento no presenta movimiento.

Inactivo: La masa de suelo o roca no presenta movimiento.

Latente: Movimiento en masa actualmente inactivo, pero permanecen los factores contribuyentes.

Abandonado: La causa de inestabilidad del movimiento ha dejado de actuar.

Estabilizado: El desplazamiento ha cesado por la ejecución de obras correctivas.

Relicto: Movimiento que ocurrió bajo condiciones Geomórficas o climáticas diferentes a las actuales.

El siguiente componente es el estilo, indicándonos la distribución del movimiento y finalmente la distribución de este.

7.1.4 LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA

En esta parte la formación o el depósito sobre el cual se encuentra el movimiento en masa, definiendo el tipo de estructura la orientación (rumbo y buzamiento), y el espaciamiento.

7.1.5 CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO

Aquí definimos el movimiento primario y si existe un secundario. Luego clasificamos el subtipo de movimiento, el tipo de material, la humedad, el origen del suelo etc. A continuación se muestran tipos de movimientos en masa.

Caída: Tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de la superficie de un talud, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire, pero con algunos golpes, rebotes y rodamiento. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. Algunos autores, como Corominas y Yague (1997) denominan colapso a los casos en que el material cae de manera eminentemente vertical.

Volcamiento: Tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas.

Deslizamiento: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de zonas relativamente delgadas con gran deformación cortante (Cruden y Varnes, 1996).

Flujo: Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido, pero que en principio se origina en otro movimiento como un deslizamiento o caída.

Propagación Lateral: Expansión de una masa de roca o suelo cohesivo, combinada con una subsidencia general de la masa fracturada de material cohesivo, en el material subyacente más blando (Cruden y Varnes, 1996).

Reptación: Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional cuando se asocia a cambios climáticos, o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

7.1.6 MORFOMETRÍA

Se refiere a las características geométricas generales de la ladera, una vez ocurrida la falla. Incluye las dimensiones del movimiento, en la sección general, entre las cuales se incluye, su longitud vertical, horizontal, hipotenusa, ángulos presentes, pre y post falla, y un Fahrböschung, y dirección de azimut.

Seguida de esta, se encuentra la casilla de dimensiones del terreno, las cuales nos indican las dimensiones del material desplazado. En la sección de deformación del terreno se define el modo de deformación y su severidad, luego se llena la casilla geoforma, sobre la cual se define el tipo de ambiente geomorfológico al que pertenece, y una descripción breve correspondiente a la geomorfología del movimiento.

7.1.7 CAUSAS DEL MOVIMIENTO

Esta sección se divide en causas inherentes y en contribuyentes – detonantes. Las causas inherentes se refieren al material involucrado y sus características, lo contribuyentes y detonantes denotan los factores que desencadenan el movimiento en masa

7.1.8 COBERTURA Y USO DEL SUELO

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

7.1.9 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

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

7.1.10 EFECTOS SECUNDARIOS

Este aspecto se refiere a represamientos de cursos de agua. Para este tipo de efecto se requieren cuatro tipos de información: el tipo de represamiento la forma de la presa, condiciones de la presa y morfometría del embalse.

7.1.11 IMPORTANCIA DEL EVENTO

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

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

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

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

7.1.12 DAÑOS

Infraestructura: edificios, carreteras, instituciones educativas, puentes, servicios públicos, vía férrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, capa asfáltica, galpones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto.



Económicos: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga.

Ambientales: parques, bosques, planta tratamiento de agua.

7.1.13 NOTAS Y APRECIACIÓN DEL RIESGO

Posiblemente durante el diligenciamiento del formulario no se encuentre un campo apropiado para alguna información que el encuestador considere de mucho interés, o que requiera aclarar o complementar. En estos casos, en el campo donde surja esta necesidad se debe marcar con un número entre paréntesis y utilizar el campo de notas y apreciación del riesgo para escribir lo que corresponda.

7.1.14 ESQUEMA

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

7.1.15 REGISTRO FOTOGRÁFICO

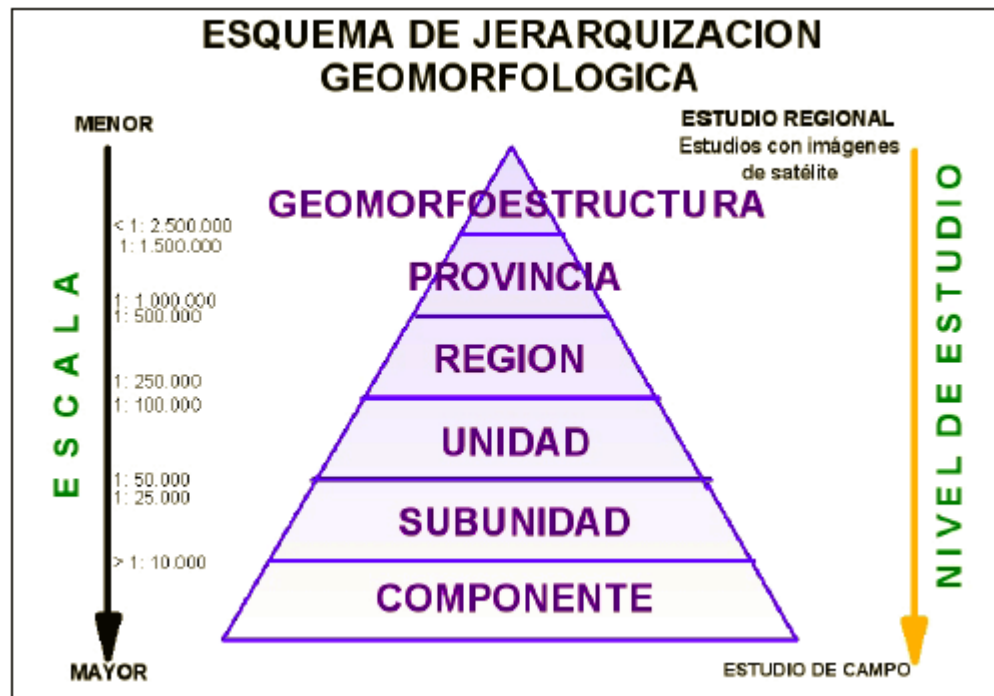
El registro fotográfico del movimiento debe mostrar escenas relevantes del mismo. Se sugiere que al menos se tenga una foto panorámica, detalles del escarpe principal, del cuerpo principal y pie. Las fotografías deben incluir escala y fecha de toma.

8 GEOMORFOLOGIA

La geomorfología se puede definir como la ciencia que estudia el origen, clasificación, procesos y evolución de las formas del terreno, relacionándolas con la influencia de factores hidrometeorológicos como; el agua, el viento, el brillo solar etc. Es de gran importancia ya que si estudiamos, el modelado del paisaje podemos reconstruir la historia pasada, presente y futura del relieve en un área dada, definiendo zonas homogéneas gracias a imágenes de satélite y así delimitar zonas vulnerables a movimientos en masa, todo esto con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Para esta investigación, se utilizó la propuesta metodológica para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa, a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano (SGC). (Ver figura 10).

Figura 10. Esquema de jerarquización geomorfológica.



Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.



Según la metodología utilizada y la escala de trabajo se definirán desde unidades a subunidades geomorfológicas.

Las subunidades del paisaje están definidas fundamentalmente por contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos. Igualmente, está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos.

La notación cartográfica propuesta, corresponde a una abreviatura de hasta 5 caracteres; el primero en mayúscula. El primero y el segundo se utilizan para identificar el ambiente morfogenético principal (Denudacional: D, Volcánico: V, Estructural: S, Fluvial y deltaico: F, Kárstico: K, Marino y costero: M, Glacial: G, Eólico: E, Antropogénico: A); letras adicionales para especificar tanto el relieve como, el nombre de la geoforma típica de cada ambiente morfogenético, ver Verstappen y Van Zuidam (1992)²⁸.

8.1 ATRIBUTOS DEL MAPA GEOMORFOLOGICO ²⁹

La valoración del relieve a través de atributos cuantificables, permite caracterizar un ambiente geomorfológico, agruparlo en sus similitudes y posteriormente calificarlo, en cuanto a la susceptibilidad o predisposición a generar movimientos en masa. Adicionalmente disminuye la subjetividad en las conclusiones derivadas de dichos atributos y permiten hacer una valoración espacial y numérica.

A continuación, se describen los parámetros principales, evaluados en la estandarización de los elementos componentes del terreno (Carvajal 2008 – Padilla y otros 2001).

Morfología: está relacionado con los aspectos de la geometría e incluye fundamentalmente los gradientes topográficos y las formas relativas.

Morfometría: Trata de aspectos cuantitativos, en términos de medidas de longitud, área, forma y pendiente. También se incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales. Los componentes del terreno para su descripción son:

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

²⁸ Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

²⁹ Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

del mar. Es un atributo que indica la energía potencial de un sistema de drenaje y los materiales constitutivos de la geoforma. (Ver tabla 2).

Tabla 2. Rangos de relieve relativo.

	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.

Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

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. (Ver tabla 3).

Tabla 3. Rangos de inclinación de la ladera.

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.

Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

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. (Ver tabla 4)

Tabla 4. Rangos de longitud de la ladera.

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.

Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

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 o convexas, movimientos planares a pendientes rectas controladas estructuralmente y movimientos complejos a pendientes irregulares. (Ver tabla 5).

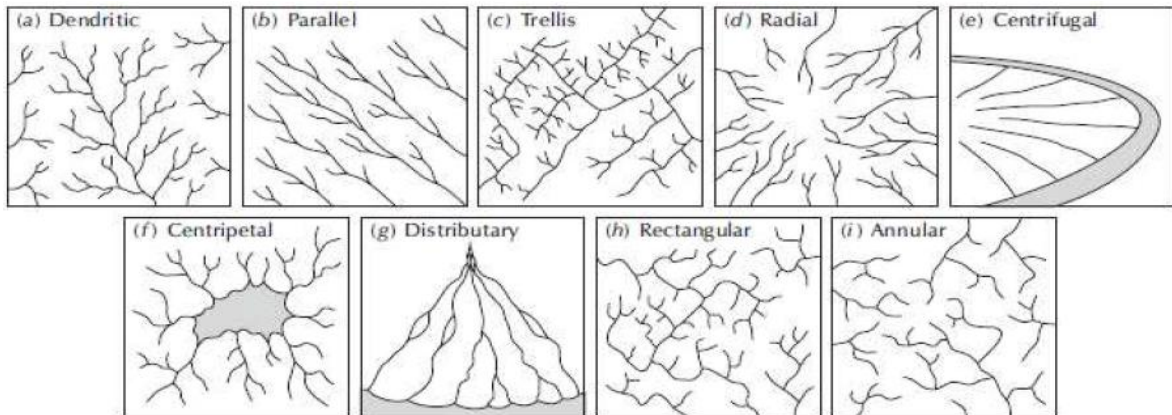
Tabla 5. Rangos de forma de la ladera.

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

Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

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. (Ver figura 11).

Figura 11. Rangos de forma de la ladera.



Fuente. Huggett, 2007

Forma de crestas y valles: Las divergencias entre las formas características que presenta el relieve, se consideran 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. (Ver tabla 6).

Tabla 6. Rangos de forma de la ladera.

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

Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

Morfogénesis: Implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno.

Morfoestructura y Litología: indica el modelaje del relieve, según composición, disposición y dinámica interna de la tierra. La morfoestructura incide en el modelaje del paisaje según: Condición pasiva que analiza las formas resultantes de los procesos o deformaciones tectónicas (activas o inactivas) expresadas en el relieve de la superficie terrestre, con dimensiones y configuraciones variables; y la condición activa que corresponde a los procesos morfogenéticos endógenos asociados tanto a la deformación y al fracturamiento tectónica como al vulcanismo que determina geformas de configuraciones y dimensiones variables.

8.2 MORFOGENESIS

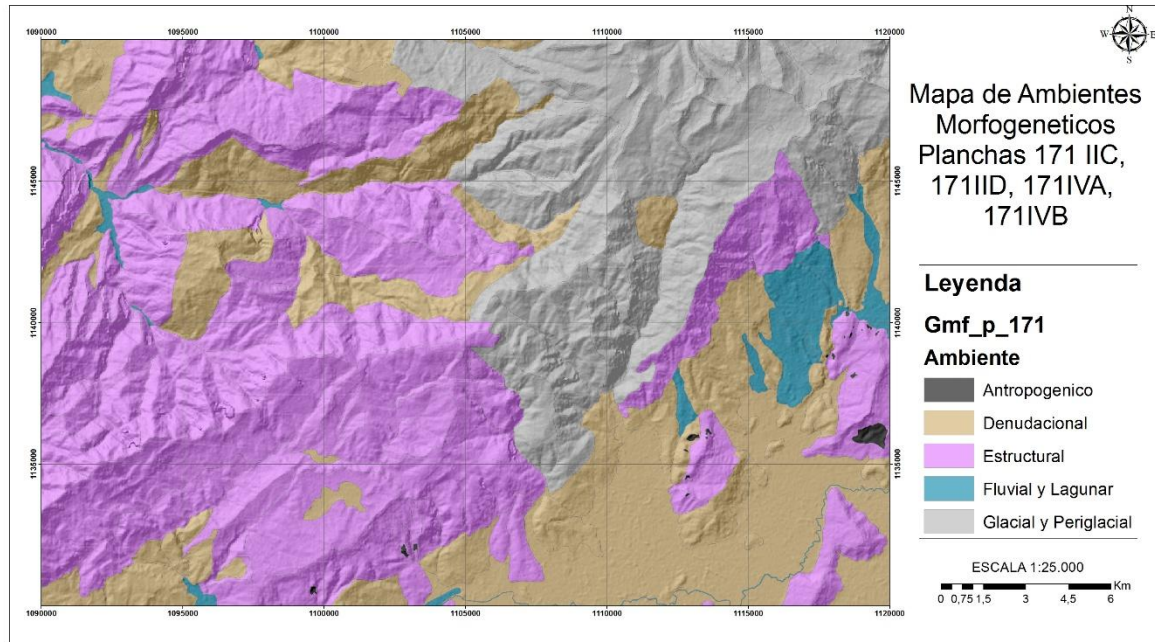
Implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno.

Aquí se delimitan las unidades el terreno por ambiente, determinando el agente exógeno que ha afectado al terreno, así definimos y clasificamos los ambientes así:

- Ambiente Denudacional.
- Ambiente Eólico.
- Ambiente Estructural.
- Ambiente Fluvial.
- Ambiente Glaciar.
- Ambiente Kárstico.
- Ambiente Marino.
- Ambiente Volcánico.

Para la zona de estudio encontramos los ambientes Denudacional, estructural, fluvial y Glaciar. (Ver figura 12).

Figura 12. Ambientes área de estudio



La diferenciación de ambientes, se hace de acuerdo a la interpretación del Modelo de sombras y la imagen de satélite, tomando en cuenta que por ejemplo, el ambiente glacial y periglacial, se encuentra a alturas de paramo, es decir, que existe una conexión entre la altura sobre el nivel del mar y el ambiente que podemos encontrar en nuestra zona.

La zona de estudio comprende los cascos urbanos de Duitama y Paipa, por lo cual encontramos en este valle unidades del ambiente denudacional. (Ver tabla 7 y Figura 13).

Tabla 7. Distribución de ambientes.

Ambiente	Área Km ²	%
Estructural	281,9577289	46,99
Denudacional	166,9328688	27,82
Glacial y Periglacial	132,8939572	22,14
Fluvial y Lagunar	17,12449407	2,85
Antropogénico	1,090951388	0,18
	600,0000000	100



8.2.1 AMBIENTE ESTRUCTURAL

En el ambiente estructural, encontramos las geoformas generadas y relacionadas con la dinámica interna del planeta, las cuales se generan por plegamientos y fallamientos de las rocas, estas están definidas por la litología y disposición estructural de las rocas que afloran en superficie. En el área de estudio, encontramos este ambiente sobre rocas mesozoicas como, la formación Palermo, la formación Arcabuco y la formación Montebel, también aparecen algunas geoformas sobre algunas formaciones cretácicas.

El ambiente estructural corresponde a las zonas dominadas por los bloques tectónicos de rocas sedimentarias plegadas. En este contexto, tanto la litología como, la estructura de deformación de las rocas inciden para favorecer una disección distintiva de los bloques levantados y plegados. Mientras el grado de plegamiento de las rocas sedimentarias favorece geoformas específicas tales como, mesetas y crestas estructurales. Por tales motivos, los criterios de clasificación se agrupan principalmente en las diferencias litológicas, los controles estructurales de plegamiento y fallamiento que presentan las zonas levantadas.

Las geoformas de origen estructural del área de estudio fueron generadas por los procesos tectónicos, dando origen al levantamiento y plegamiento de la cordillera oriental, en su proceso generaron grandes estructuras anticlinales y sinclinales, que dieron origen a diferentes geoformas de ambiente estructural, así como fallas geológicas de gran importancia en este ambiente. (Ver tabla 8 y figura 16).

En la zona, se definieron 22 unidades del ambiente estructural, principalmente al occidente del área de estudio. (Ver figura 15)

Figura 15. Mapa de unidades del ambiente estructural.

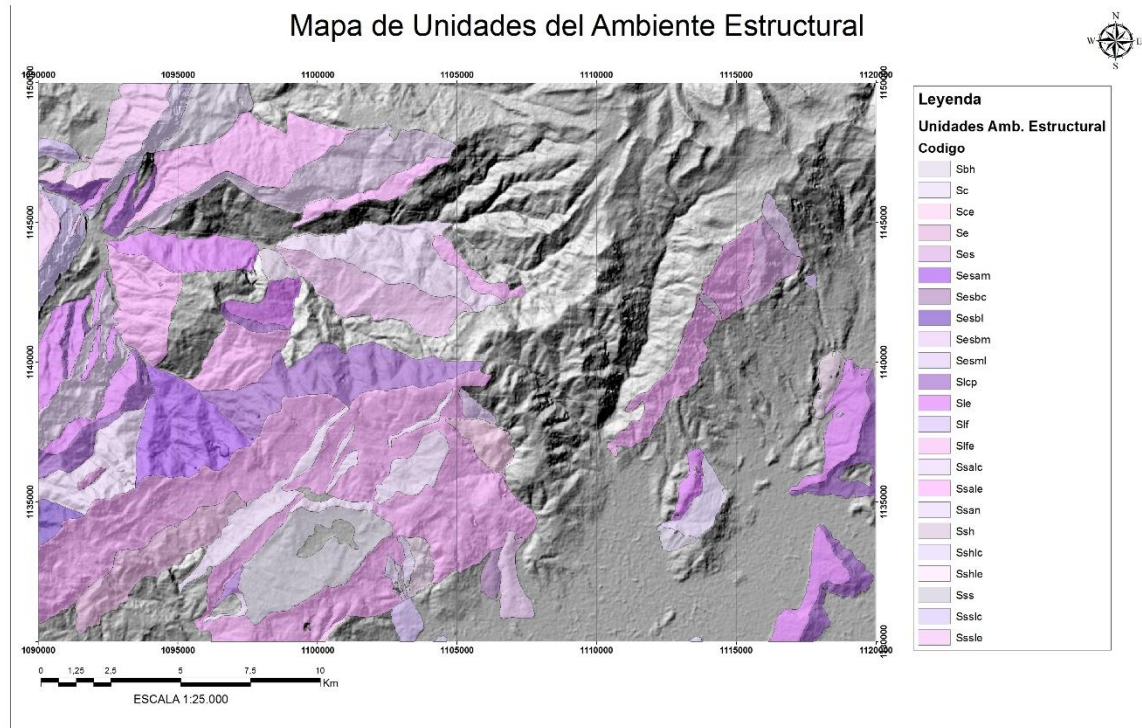
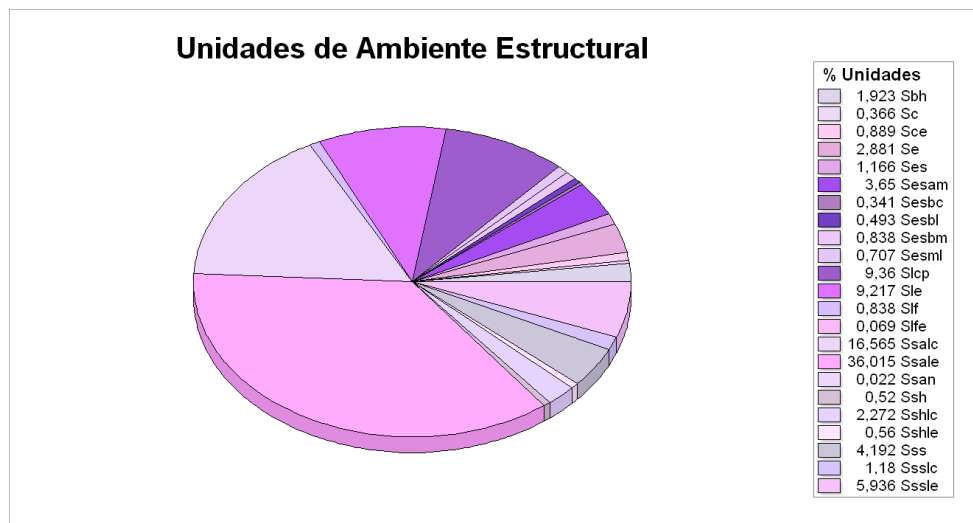


Tabla 8. Ambiente Estructural

Ambiente Estructural			
Unidad	Nombre	Área m ²	%
Sbh	Barra homoclinal	5397901,73	1,92316308
Sc	Cuesta	1027570,36	0,36610251
Sce	Cerro estructural	2495903,14	0,88923975
Se	Espinazo	8085922,3	2,88085038
Ses	Espolón	3272357,65	1,16587477
Sesam	Espolón alto de longitud media	10245029,3	3,6500965
Sesbc	Espolón bajo de longitud corta	958143,658	0,34136718
Sesbl	Espolón bajo de longitud larga	1382434,33	0,49253336
Sesbm	Espolón bajo de longitud media	2351223,03	0,83769315
Sesml	Espolón medio de longitud larga	1985043,25	0,70723071

Slcp	Ladera contrapendiente	26271360,6	9,3599538
Sle	Ladera estructural	25870308,6	9,21706711
Slf	Faceta triangular	2353125,33	0,8383709
Slfe	Escarpe de línea de falla	194216,305	0,06919534
Ssalc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	46494400,7	16,5650135
Ssale	Ladera estructural sierra anticlinal	101084960	36,0145245
Ssan	Sierra anticlinal	62275,3406	0,02218744
Ssh	Sierra homoclinal	1458380,36	0,51959139
Sshlc	Ladera de contrapendiente sierra homoclinal	6378130,41	2,27239871
Sshle	Ladera estructural sierra homoclinal	1571855,36	0,56002024
Sss	Sierra Sinclinal	11766429,7	4,19214065
Ssslc	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	3310939,75	1,17962079
Sssle	Ladera estructural sierra sinclinal	16660403	5,93576425
TOTAL		280678315	100

Figura 16. Distribución de unidades del ambiente estructural.



8.2.1.1 Barra Homoclinal (Sbh)

Esta unidad se localiza en el extremo NW de la zona de estudio, en límites con el departamento de Santander, sobre rocas de la formación “La Rusia” (Jru), la cual está compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo. Esta unidad se encuentra en lomas alargadas, paralelas y dentadas, con un índice de relieve relativo alto, con una pendiente muy escarpada, longitud de ladera moderadamente larga, de forma recta, no presenta procesos erosivos y presenta poca cobertura vegetal. (Ver figura 17).

Figura 17. Barras homoclinales.

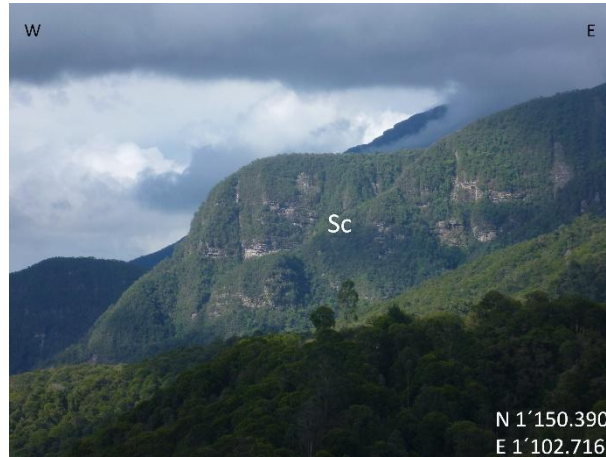


Fuente. Google Earth.

8.2.1.2 Cuesta (Sc)

Esta unidad se localiza en el corregimiento de Palermo perteneciente al municipio de Paipa, sobre rocas de la Formación Palermo (TrJp), compuestas por areniscas cuarzosas rojas y verdes, la unidad se encuentra en una sierra asimétrica alargada, con tipo de morfología alomada, con una inclinación de las capas de 15°, presenta un índice de relieve relativo alto, la longitud de la ladera es corta, de forma recta, presenta procesos erosivos leves y una cobertura vegetal predominante de arbustos. (Ver fotografía 14).

Fotografía 14. Cuesta.



8.2.1.3 Cerro Estructural (Sce)

Esta unidad se localiza en la vereda Los Medios del municipio de Paipa, sobre rocas de la formación los medios, específicamente sobre su miembro conglomerático (Kimi), la unidad es una prominencia colinada aislada de la topografía, la cual presenta un índice de relieve relativo moderado, longitud de ladera moderadamente larga, con pendiente de inclinada a muy inclinada, con una forma de ladera convexa que presenta un grado bajo de disección, la forma de la cresta es redondeada. (Ver figura 18).

Figura 18. Cerro estructural.



Fuente. Google Earth.

8.2.1.4 Espinazo (Se)

Esta unidad se localiza en la vereda Tierra negra del municipio de Sotaquirá, al suroeste de la zona de estudio, sobre rocas cretácicas de las formaciones; Ritoque (Kiri) y Los Medios (Kims), compuestas por limolitas y lodolitas grises, esta unidad se encuentra en sierras simétricas alargadas, con un índice de relieve relativo moderado, una pendiente de inclinada a muy inclinada, con una longitud moderadamente larga, de forma recta, no presenta procesos erosivos y la forma de la cresta es aguda. Es de destacar la forma escalonada de los estratos dispuestos en una ladera estructural. (Ver fotografía 15).

Fotografía 15. Barras homoclinales.



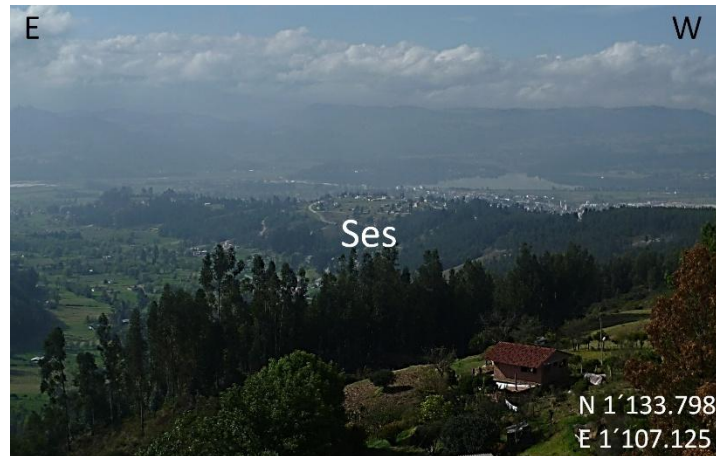
8.2.1.5 Espolón (Ses)

Esta unidad se localiza en la vereda Santa Lucia, perteneciente a la ciudad de Duitama, sobre rocas mesozoicas de la Formación La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo. Esta unidad es una saliente de morfología alomada, la cual se encuentra dispuesta perpendicular a la tendencia estructural de la región, que en la zona es NNE, presenta un índice de relieve relativo alto, pendientes de inclinadas a muy inclinadas, con longitudes de ladera larga y forma recta. Presenta un grado de disección moderado.

Los espolones se encuentran clasificados de manera más específica, con los valores del índice de relieve relativo y la longitud de su ladera, como mostraremos a continuación en las siguientes unidades que tienen que ver con espolones.

En la fotografía 16 observamos un espolón a manera general, que es ilustrativo para el caso de cualquier tipo de espolón. (Ver fotografía 16).

Fotografía 16. Espolón



8.2.1.6 Espolón alto de longitud media (Sesam)

En la zona encontramos un espolón de este tipo, localizado en la vereda Tierra Negra del municipio de Sotaquirá, sobre rocas mesozoicas de las formaciones Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros, areniscas cuarzosas arcillosas y La Rusia (Jru) compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo. Esta unidad morfológicamente es una saliente alomada dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural de la región. Específicamente tiene un relieve relativo mayor a 1000 m y la longitud del eje principal de moderadamente larga a larga es decir está entre 250 y 1000 m.

8.2.1.7 Espolón bajo de longitud corta (Sesbc)

En la zona encontramos un espolón de este tipo localizado al norte de la cabecera municipal de Paipa, sobre rocas Terciarias de la formación Tilata (Tst), compuesta por gravas, arenas, arcillas y esporádicas capas de lignito. Esta unidad morfológicamente es una saliente alomada dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural de la región. Específicamente tiene un relieve relativo menor

a 250 m y la longitud del eje principal de muy corta a corta, es decir está es menor a 250m.

8.2.1.8 Espolón bajo de longitud larga (Sesbl)

En la zona encontramos un espolón de este tipo localizado al norte de la cabecera municipal, de Sotaquirá, sobre rocas mesozoicas de las formaciones La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo y Arcabuco (Jar) compuesta por Areniscas cuarzosas blanco-amarillentas con niveles intercalados de shales rojos. Esta unidad morfológicamente es una saliente alomada dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural de la región. Específicamente tiene un relieve relativo menor a 250 m y la longitud del eje principal de larga a extremadamente larga es decir mayor a 1000 m.

8.2.1.9 Espolón bajo de longitud media (Sesbm)

En la zona encontramos un espolón de este tipo localizado al norte de la cabecera municipal de Paipa, sobre rocas de las formaciones Guaduas (Ktg), compuesta por Lodolitas prevalectantes; niveles de areniscas cuarzosas y capas de carbón y Tilata (Tst) compuesta por gravas, arenas, arcillas y esporádicas capas de lignito. Esta unidad morfológicamente es una saliente alomada dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural de la región. Específicamente tiene un relieve relativo menor a 250 m y la longitud del eje principal de moderadamente larga a larga es decir está entre 250 y 1000 m.

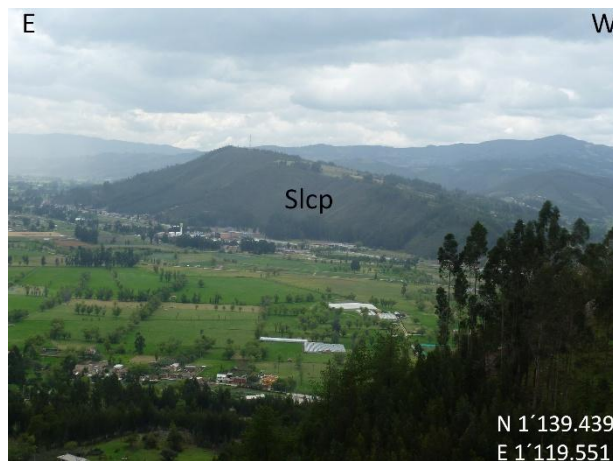
8.2.1.10 Espolón medio de longitud larga (Sesml)

En la zona encontramos un espolón de este tipo localizado en la vereda los medios del municipio de Paipa, sobre rocas mesozoicas de la formación Arcabuco (Jar), compuesta por areniscas cuarzosas blanco-amarillentas con niveles intercalados de shales rojos. Esta unidad morfológicamente es una saliente alomada dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural de la región. Específicamente tiene un relieve relativo entre 250 y 1000 m y la longitud del eje principal de larga a extremadamente larga es decir mayor a 1000 m.

8.2.1.11 Ladera contrapendiente (Slcp)

Esta unidad está localizada en varios sectores del área de estudio, sobre algunas de las rocas sedimentarias encontradas en la zona de estudio, la mayor parte compuesta por areniscas. Esta unidad se define como una superficie inclinada que presenta una morfología regular, en la cual los estratos o capas se encuentran buzando en sentido opuesto a la pendiente, la longitud varía de una unidad a otra desde corta a muy larga, la pendiente varía de suavemente inclinada a muy escarpada. Esta unidad es dada cuando no está asociada a estructuras regionales. (Ver fotografía 17).

Fotografía 17. Ladera contrapendiente



8.2.1.12 Ladera estructural (Sle)

Esta unidad se presenta en diferentes sectores de la zona de estudio, sobre todas las formaciones mesozoicas y algunas formaciones cretácicas, se caracteriza por superficies inclinadas de morfología regular, en la cual los estratos se encuentran buzando a favor de la pendiente del terreno, la longitud varía de moderadamente larga a extremadamente larga, la pendiente varía de suavemente inclinada a escarpada. Esta unidad es dada cuando no está asociada a estructuras regionales. (Ver fotografía 18).

Fotografía 18. Ladera estructural



8.2.1.13 *Escarpe de línea de falla (Slfe)*

Esta unidad se encuentra ubicada en la vereda el Volcán del municipio de Paipa, sobre rocas de la formación Tilata (Tst), compuesta por gravas, arenas, arcillas y esporádicas capas de lignito. Esta unidad presenta un plano subvertical, de longitud corta, de forma convexa con una pendiente abrupta. Este plano podría relacionarse con la falla de Boyacá, la cual en el momento de desplazar los dos bloques adjuntos generó erosión en uno de ellos lo que dio origen al escarpe. (Ver figura 19).

Figura 19. Escarpe de línea de falla



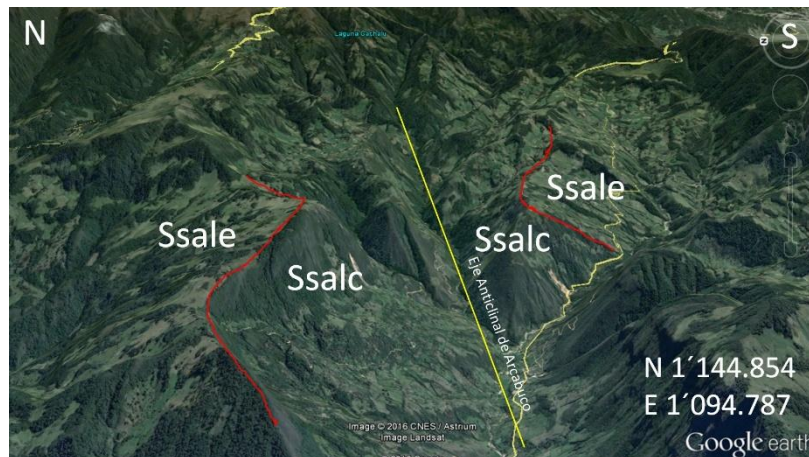
Fuente. Google Earth

8.2.1.14 **Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc)**

Esta unidad se encuentra localizada en diferentes partes de la plancha, relacionada al anticlinal de arcabuco, el cual pasa por el corregimiento de Palermo, sobre rocas mesozoicas de la formación Palermo (TrJp), compuesta por areniscas cuarzosas rojas y verdes, la formación Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas, la formación La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo, y en algunas formaciones Cretácicas. Esta unidad presenta superficies inclinadas a abruptas, de longitud corta a larga, presenta forma irregular a veces escalonada, con estratos dispuestos en sentido opuesto a la pendiente del terreno. Esta geoforma se genera por procesos erosivos o tectonismo que modifican la estructura original cortando capas y generando laderas en contrapendiente.

Las laderas de contrapendiente relacionadas con el anticlinal de arcabuco, se pueden observar en los alrededores del corregimiento de Palermo, por donde pasa el eje de este anticlinal. (Ver figura 20).

Figura 20. Sierra anticlinal



Fuente. Google Earth

8.2.1.15 **Ladera estructural sierra anticlinal (Ssale)**

Esta unidad se encuentra distribuida en diferentes sectores del área, sobre rocas paleozoicas y cretácicas, se encuentra relacionada con estructuras anticlinales como el anticlinal de arcabuco, se define como una superficie a favor de la

pendiente de longitud que varía de corta a larga, en forma convexa a recta, con pendiente inclinada a abrupta. La inclinación de los estratos a veces es menor a la inclinación de la pendiente del terreno. Esta geoforma se localiza sobre los flancos de la estructura anticlinal.

En la figura 20, observamos las laderas estructurales que conforman la sierra anticlinal de Arcabuco, en el corregimiento de Palermo.

8.2.1.16 Sierra anticlinal (Ssan)

En la zona de estudio encontramos la sierra anticlinal de Arcabuco, localizada en la parte norte de la zona de estudio, pasando por el corregimiento de Palermo, esta se encuentra sobre rocas mesozoicas de la formación Palermo (TrJp), compuesta por areniscas cuarzosas rojas y verdes, la formación Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas, la formación La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo. Esta unidad se define como una prominencia topográfica, alargada de morfología montañosa, que presenta cimas agudas, limitada por laderas estructurales inclinadas a muy inclinadas, de forma recta a convexa, con pendiente variable.

En la figura 20, tenemos una sierra sinclinal que tiene erosionada la cresta formando laderas en contrapendiente y los flancos que quedan forman las laderas estructurales.

8.2.1.17 Sierra homoclinal (Ssh)

Esta unidad se localiza en la vereda Peñitas del municipio de Santa Rosa de Viterbo, sobre rocas cretácicas de la formación Une (Kv2), compuesta por arenisca cuarzosa, con intercalaciones de shales más frecuentes hacia el techo. Esta unidad se define como una prominencia topográfica simétrica, alargada, de morfología montañosa, con cimas agudas, índice de relieve relativo moderado, pendiente abrupta, de longitud corta y forma cóncava. Los estratos se encuentran inclinados 30° aproximadamente. Esta geoforma es llamada así porque no se encontró relación a una estructura regional.

Sobre esta sierra existen algunas canteras para extracción de material de construcción, y existen movimientos en masa que son favorecidos por el

buzamiento de los estratos, afectando la vía Duitama – Santa Rosa de Viterbo.
(Ver fotografía 19).

Fotografía 19. Sierra homoclinal.



8.2.1.18 Ladera de contrapendiente sierra homoclinal (Sshlc)

Esta unidad se localiza al oeste de la cabecera municipal de Duitama en la loma cargua, sobre la formación conejo (Kscn), compuesta por niveles de shales grises oscuros prevalecientes y niveles de areniscas cuarzosas. Esta unidad presenta estratos inclinados en contra de la pendiente, la superficie es irregular, relieve relativo moderado, longitud de ladera corta. Relacionada con una sierra homoclinal.

8.2.1.19 Ladera estructural sierra homoclinal (Sshle)

Esta unidad se encuentra localizada junto a unas canteras ubicadas entre las veredas El Volcán y Medios del municipio de Paipa, sobre la formación Los Medios, compuesta por limolitas y lodolitas (Miembro limolítico Kims), conglomerado prevaleciente, areniscas cuarzosas y limolitas (Miembro conglomerático Kimi). Esta geoforma está definida por la disposición de los estratos a favor de la pendiente, presentan una longitud corta a moderadamente larga, de forma convexa, con pendientes escarpadas. Relacionada a una sierra homoclinal.

8.2.1.20 *Sierra sinclinal (Sss)*

Esta unidad se localiza en la vereda los medios entre los municipios Paipa y Sotaquirá, sobre rocas de la formación Ritoque (Kiri), conformadas por limolitas y lodolitas grises, calizas subordinadas. Esta unidad se relaciona con el sinclinal de los medios, una estructura asimétrica que presenta flancos levemente plegados. Esta sierra es una prominencia topográfica en forma de artesa, que está formada por el eje de un sinclinal, que se encuentra limitada por laderas de contrapendiente, presenta un relieve relativo moderado, con pendiente inclinada, de longitud moderadamente larga. En esta geoforma se han presentado procesos denudativos que han desmantelado los flancos del sinclinal. (Ver fotografía 20).

Fotografía 20. Sierra Sinclinal de los Medios



8.2.1.21 *Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc)*

Esta unidad se encuentra localizada en la parte NW del área de estudio, en límites con el departamento de Santander, sobre rocas de la formación Arcabuco compuesta por areniscas cuarzosas blanco-amarillentas con niveles intercalados de shales rojos. Esta unidad presenta superficies subverticales, con una pendiente de abrupta a muy abrupta, de longitud larga a muy larga, de forma escalonada. Los estratos se encuentran dispuestos en contra de la pendiente y relacionados con una estructura sinclinal. (Ver fotografía 21).

Fotografía 21. Ladera de contrapendiente y estructural de sierra sinclinal



8.2.1.22 *Ladera estructural sierra sinclinal (Sssle)*

Esta unidad se encuentra en la parte NW del área de estudio, en límites con el departamento de Santander, sobre rocas de la formación Arcabuco (Jar), compuesta por areniscas cuarzosas blanco-amarillentas con niveles intercalados de shales rojos; se define como una superficie a favor de la pendiente, de longitud que varía de corta a moderadamente larga, en forma recta a convexa, con pendiente inclinada a muy inclinada. Estas unidades se relacionan con los flancos de una estructura sinclinal. En la fotografía 21, se observa una porción de ladera estructural, en una sierra sinclinal.

8.2.2 AMBIENTE DENUDACIONAL

Se incluyen las geoformas cuya expresión morfológica no depende del plegamiento de la corteza, ni tampoco por el vulcanismo, sino exclusivamente a procesos exógenos degradacionales, está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de lluvia-escorrentía, meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial, que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas morfoestructurales preexistentes, donde se generan nuevas subunidades por acumulación de sedimentos.³⁰

³⁰ MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESC 1:100.000. PLANCHA 265 – ICONONZO. / SGC 2014

El ambiente denudacional es dominado por las lluvias, que son frecuentes en la zona de estudio, generando cambios en el paisaje, el 27,82% del área total corresponde a este ambiente, que es frecuente en valles y partes bajas de las geoformas de ambiente estructural. La unidad denudacional que más se presenta en el área es la planicie (Dp), sobre esta geoforma se ubican las cabeceras municipales de Duitama y Paipa, junto con los grandes valles que existen entre estas. (Ver tabla 9 y figura 22)

En la zona se identifican, unidades de este ambiente, distribuidas por toda el área. (Ver Figura 21).

Figura 21. Mapa de unidades del ambiente denudacional

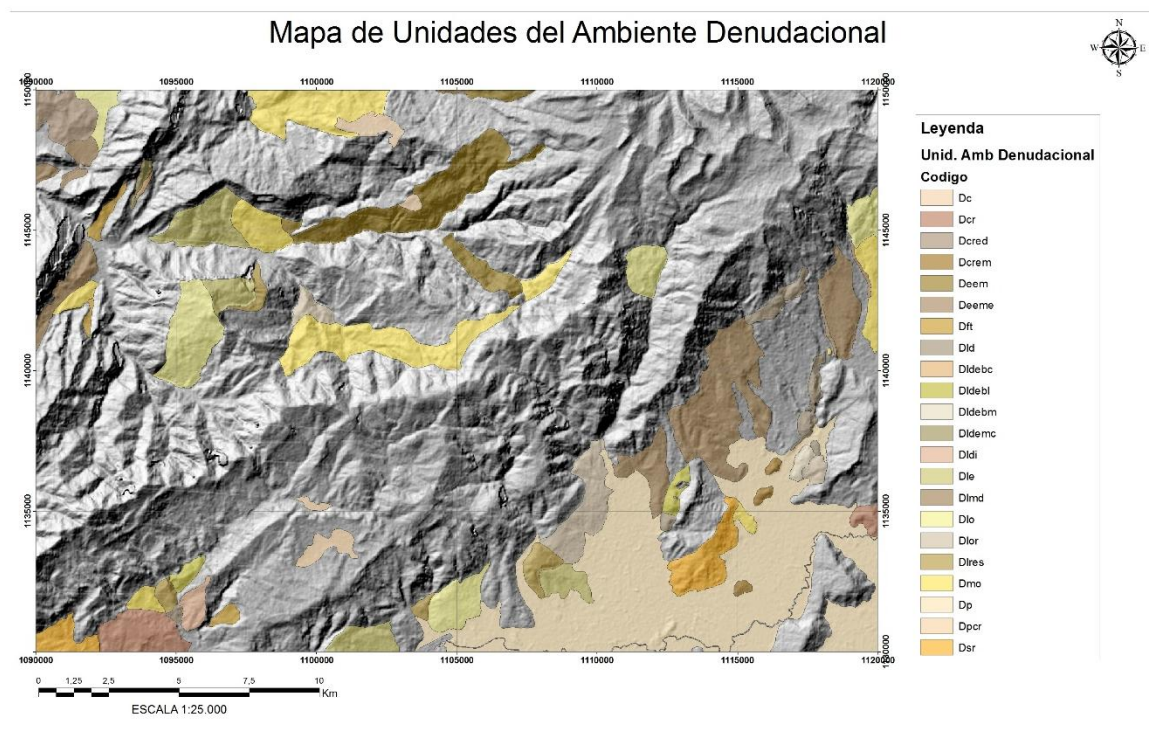


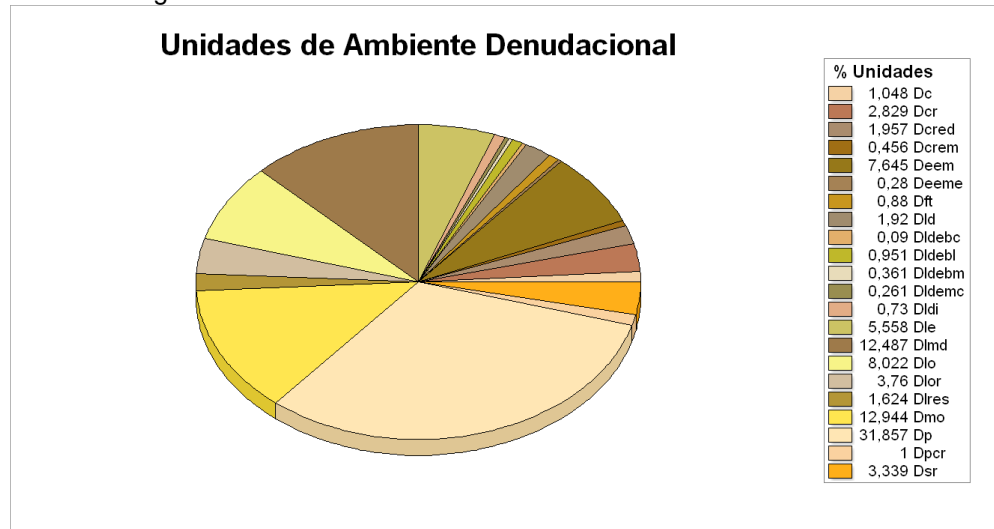
Tabla 9. Ambiente Denudacional

Ambiente Denudacional			
Unidad	Nombre	Área m ²	%
Dc	Cima	1762167,99	1,05
Dcr	Colina residual	4758343,21	2,83
Dcred	Colina remanente disectada	3292454,8	1,96
Dcrem	Cerro remanente o relicto	766670,779	0,46
Deem	Escarpe de erosión mayor	12860235,2	7,65



Deeme	Escarpe de erosión menor	471318,397	0,28
Dft	Cono o lóbulo de flujo diferenciado	1479986,87	0,88
Dld	Loma denudada	3230275,86	1,92
Dldebc	Lomo denudado bajo de longitud corta	150589,687	0,09
Dldebl	Lomo denudado bajo de longitud corta	1599181,41	0,95
Dldebm	Lomo denudado bajo de longitud media	608010,606	0,36
Dldemc	Lomo denudado moderado de longitud corta	438262,923	0,26
Dldi	Lomeríos disectados	1227216,67	0,73
Dle	Ladera erosiva	9349631,8	5,56
Dlmd	Lomeríos muy disectados	21005403,3	12,49
Dlo	Ladera ondulada	13494442,6	8,02
Dlor	Loma residual	6324651,51	3,76
Dlres	Lomo residual	2732512,32	1,62
Dmo	Montículos y ondulaciones denudacionales	21772895,9	12,94
Dp	Planicie	53587832,9	31,86
Dpcr	Planicie colinada residual	1682808,42	1,00
Dsr	Sierra residual	5617389,76	3,34
TOTAL		168212283	100,00

Figura 22. Distribución de unidades del ambiente Denudacional



8.2.2.1 Cima (Dc)

Esta unidad se localiza en la vereda Peña Blanca del municipio de Paipa, sobre rocas de la formación Montebel (Jlm), compuesta principalmente de Limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas. Esta unidad se define como una superficie amplia, de forma convexa a plana, dispuesta en planta de forma alargada, con un índice de relieve relativo muy bajo, una pendiente suavemente inclinada, con una longitud de 1500 metros y un ancho de 450 metros, se encuentra limitada por laderas escarpadas. Esta unidad se originó por procesos de erosión intensa. (Ver figura 23).

Figura 23. Cima.



Fuente. Google Earth

8.2.2.2 Colina residual (Dcr)

Esta unidad se presenta en la vereda Tocogua, perteneciente al municipio de Duitama, sobre rocas Paleozoicas de la formación Cucho, compuesta por areniscas de cuarzo y argilitas rojo-violetas y amarillo crema. Esta se define como una elevación del terreno entre 200 y 399 metros, tomando como referencia su nivel base, índice de relieve relativo moderado, con una pendiente abrupta, longitud de ladera de moderadamente larga a larga, de forma recta, con cima redondeada. Se relaciona con procesos denudacionales. (Ver fotografía 22).

Fotografía 22. Colina residual.



8.2.2.3 Cerró remanente o relicto (Dcrem)

Esta unidad se localiza en medio del casco urbano de Duitama, sobre rocas de la formación une (Kv2), arenisca cuarzosa, con intercalaciones de shales más frecuentes hacia el techo. Esta unidad se define como una prominencia de la topografía, que se encuentra aislada, de morfología colinada, presenta un índice de relieve relativo bajo, con pendientes inclinadas a muy inclinadas, de longitud muy corta a corta, en forma convexa, presenta erosión en surcos en algunas laderas, la forma de la cresta es aguda a redondeada. Esta unidad se genera por procesos erosivos moderados y meteorización acentuada, en las que los materiales de la formación une (Kv2) fueron más resistentes a los materiales

circundantes. En Duitama se observan como cerros semienterrados en el valle de la ciudad, sobre los cuales se han construido edificaciones. (Ver fotografía 23).

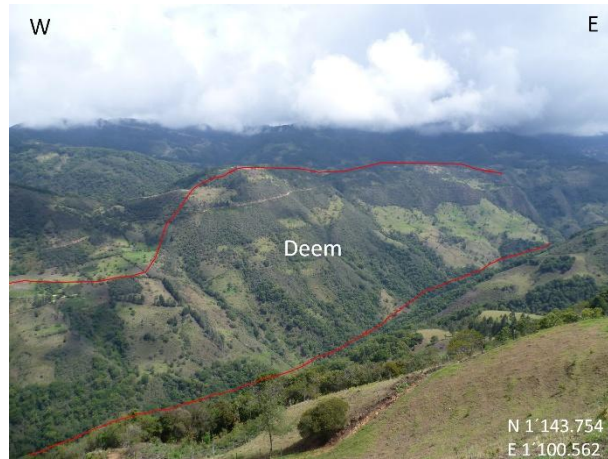
Fotografía 23. Cerró remanente o relicto.



8.2.2.4 Escarpe de erosión mayor (Deem)

Esta unidad se encuentra en los alrededores del corregimiento de Palermo, al margen derecho del río Chontal en jurisdicción del municipio de Paipa, sobre rocas de la formación Palermo (TrJp), compuesta por areniscas cuarzosas rojas y verdes; y la formación Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas; esta unidad se define como una ladera abrupta, con un índice de relieve relativo alto, una pendiente de abrupta a escarpada, de longitud larga a muy larga, de forma recta a convexa, sobre la cual se presentan procesos erosivos que dan origen a movimientos en masa, presenta un grado de disección bajo, la cobertura vegetal se divide entre matorrales, arbustos y pastos, presenta un patrón de drenaje paralelo. Esta Geoforma debe su origen a la erosión fluvial. (Ver fotografía 24).

Fotografía 24. Escarpe de erosión mayor.



8.2.2.5 Escarpe de erosión menor (Deeme)

Esta unidad se localiza en la vereda Quebrada Grande del municipio de Santa Rosa de Viterbo, sobre depósitos cuaternarios de abanico aluvial, los cuales están compuestos de materiales remanentes de las formaciones adyacentes como la formación La Rusia (Jru); los escarpes de erosión menor se definen como una ladera abrupta de longitud corta a larga, con un índice de relieve relativo bajo, de pendiente escarpada a muy escarpada, la forma de la ladera es de recta a convexa, estos escarpes dan origen a movimientos en masa, puesto que son generados por erosión fluvial. (Ver fotografía 25).

Fotografía 25. Escarpe de erosión menor.



8.2.2.6 Cono o lóbulo de flujo diferenciado (Dft)

Esta unidad se presenta en el NW del área de estudio, en límites con el departamento de Santander, sobre el margen derecho del río Palermo, sobre rocas de la formación La Rusia (Jru), compuestas por Conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo; esta unidad tiene una estructura en forma de abanico alargado, en una morfología alomada de forma convexa, con un índice de relieve relativo bajo, una pendiente de abrupta a muy abrupta, de longitud larga a muy larga, la cobertura vegetal la componen pastos y vegetación herbácea. Esta geoforma se origina por avalanchas producidas en por lluvias torrenciales.

Este cono se compone de bloques rocosos de diferentes tamaños en una matriz areno arcillosa y materiales de las formaciones rocosas adyacentes. Cabe destacar que por este cono pasa la quebrada morada que se conecta con el río Palermo en la parte baja de la geoforma. (Ver fotografía 26).

Fotografía 26. Cono o lóbulo de flujo diferenciado.



8.2.2.7 Loma desnuda (Dld)

Esta unidad se localiza en diferentes sectores del área, en Duitama se reconocen algunas lomas desnudas en la vereda San Antonio Norte sobre rocas de la formación Une (Kv2), compuesta por Arenisca cuarzosa, con intercalaciones de shales más frecuentes hacia el techo; en Sotaquirá se reconocen en la vereda

tierra negra, sobre rocas de la formación Ritoque, compuestas por limolitas y lodolitas grises; las lomas denudadas son prominencias de la topografía con alturas menores a los 200 metros, tomando de referencia su base, de morfología alomada, con relieve relativo bajo, de pendientes muy inclinadas a abruptas, con una longitud corta, de forma convexa y forma de la cresta redondeada. Esta geoforma se relaciona con procesos de erosión diferencial sobre relieves remanentes. (Ver fotografía 27).

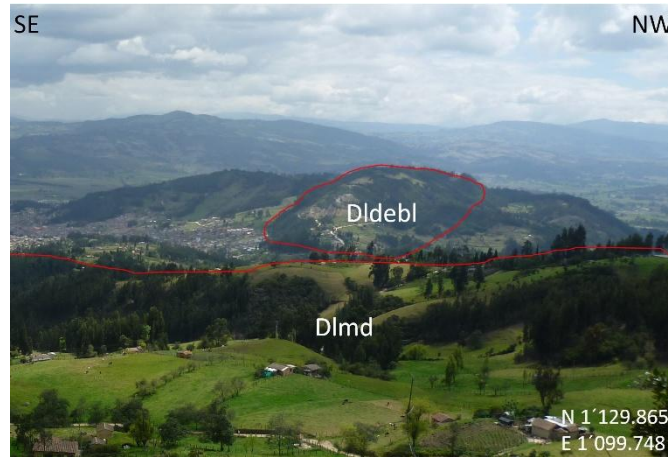
Fotografía 27. Loma denudada.



8.2.2.8 Lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc)

Esta unidad se encuentra localizada en la vereda Guacamayas del municipio de Paipa, sobre rocas de la formación Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas; son estructuras en forma de lomo, con índice de relieve relativo menor a 250 metros, y longitud del eje principal menor a 250 metros, se presentan alargados perpendiculares a un drenaje principal (Río Palermo), la longitud de la ladera es corta de forma recta a convexa, con una forma de cresta aguda a redondeada. Esta geoforma se modela de acuerdo al tipo de roca inicial, y puede indicar la velocidad de erosión del drenaje principal. (Ver fotografía 28).

Fotografía 28. Lomo y lomeríos muy disectados



8.2.2.9 Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl)

Esta unidad se encuentra localizada en la vereda Tierra Negra del municipio de Sotaquirá, sobre rocas de la formación Ritoque (Kiri), compuesta por limolitas y lodolitas grises y calizas subordinadas; son estructuras en forma de lomo, con índice de relieve relativo menor a 250 metros, y longitud del eje principal mayor a 1000 metros, se presentan alargados perpendiculares a un drenaje principal (Quebrada Honda), la longitud de la ladera es corta de forma recta a convexa, con una forma de cresta aguda a redondeada. Esta geoforma se modela de acuerdo al tipo de roca inicial, y puede indicar la velocidad de erosión del drenaje principal.

8.2.2.10 Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm)

Esta unidad se encuentra localizada en la vereda San Luis del municipio de Duitama, sobre rocas de la formación Une (Kv2), compuesta por arenisca cuarzosa, con intercalaciones de shales más frecuentes hacia el techo; son estructuras en forma de lomo, con índice de relieve relativo menor a 250 metros, y longitud del eje principal entre 250 metros y 1000 metros, se presentan alargados perpendiculares a un drenaje principal, la longitud de la ladera es corta de forma recta a convexa, con una forma de cresta aguda a redondeada. Esta geoforma se modela de acuerdo al tipo de roca inicial, y puede indicar la velocidad de erosión del drenaje principal. (Ver fotografía 29).

Fotografía 29. Lomo denudado bajo de longitud media.



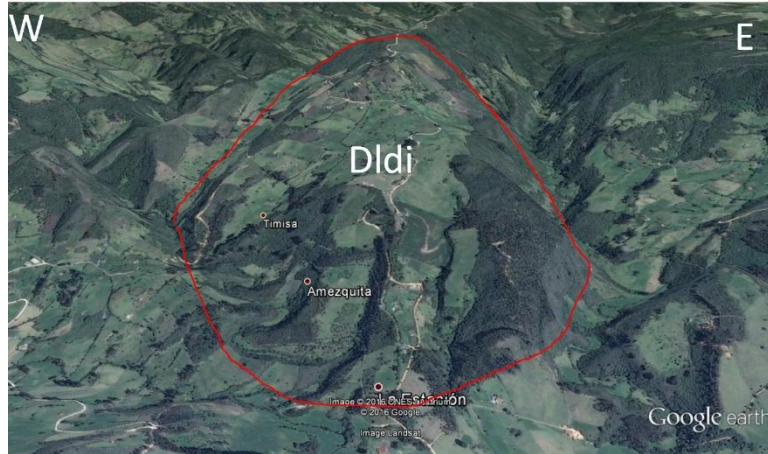
8.2.2.11 Lomo denudado moderado de longitud corta (Dldemc)

Esta unidad se encuentra localizada en la vereda Guacamayas del municipio de Paipa, sobre rocas de la formación Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas; son estructuras en forma de lomo, con índice de relieve relativo entre 250 metros y 1000 metros, y longitud del eje principal menor a 250 metros, se presentan alargados perpendiculares a un drenaje principal (Rio Palermo), la longitud de la ladera es corta de forma recta a convexa, con una forma de cresta aguda a redondeada. Esta geoforma se modela de acuerdo al tipo de roca inicial, y puede indicar la velocidad de erosión del drenaje principal.

8.2.2.12 Lomeríos disectados (Dldi)

Esta unidad se localiza en la Vereda De Toma, perteneciente al municipio de Sotaquirá, sobre rocas de la formación Ritoque (Kiri), compuestas por limolitas, lodolitas grises y calizas subordinadas; los lomeríos disectados se definen como prominencias de la topografía que presentan morfología colinada, con un relieve relativo bajo, de pendientes muy inclinadas a abruptas, de forma irregular, con procesos erosivos acentuados, presenta disección moderada por causa de aguas de escorrentía y con cimas redondeadas. Este tipo de geoformas es generada por procesos denudativos intensos. (Ver figura 24).

Figura 24. Lomeríos disectados



Fuente. Google Earth.

8.2.2.13 *Ladera erosiva (Dle)*

Esta unidad es encontrada cerca al corregimiento de Palermo, en la vereda Guacamayas del municipio de Paipa, sobre rocas de la formación Palermo (TrJp), compuesta por areniscas cuarzosas rojas y verdes, y sobre la formación Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas; las laderas erosivas están definidas por ser superficies del terreno con pendientes de inclinada a muy inclinada, de relieve relativo muy bajo, longitud de ladera moderadamente largas de forma plana, cóncava y convexa, con erosión en cárcavas y un patrón de drenaje subparalelo. Esta geoforma es susceptible a presentar movimientos en masa. (Ver fotografía 30).

Fotografía 30. Ladera erosiva.



8.2.2.14 Lomeríos muy disectados (Dlmd)

Esta unidad se encuentra distribuida por diferentes partes del área de estudio, en Duitama se presenta en la Vereda Parroquia, sobre rocas terciarias de la formación Tilata (Tst), compuesta por gravas, arenas, arcillas y esporádicas capas de lignito; esta geoforma se caracteriza por presentar prominencias topográficas de forma alomada, con un índice de relieve relativo bajo, pendiente muy inclinada abrupta, de longitud corta a moderadamente larga en forma cóncava a recta, con procesos erosivos moderados, presentando alta disección. Su origen obedece a procesos denudativos intensos. Esta unidad está ubicada al norte del valle de Duitama adjunta a la unidad de planicie (Dp).

8.2.2.15 Ladera ondulada (Dlo)

Esta unidad se localiza en diferentes sectores del área estudiada, en el NW de la cabecera municipal de Paipa, sobre rocas de la formación Tilata (Tst), compuesta por gravas, arenas, arcillas y esporádicas capas de lignito, encontramos una ladera ondulada definida como una superficie inclinada de morfología alomada, con índice de relieve relativo muy bajo, de pendiente inclinada a muy inclinada, de longitud moderadamente larga a larga, patrón de drenaje subdendrítico, en las partes bajas esta geoforma forma suelos residuales. (Ver fotografía 31).

Fotografía 31. Ladera ondulada.



8.2.2.16 **Loma residual (Dlor)**

Esta unidad se localiza en diferentes partes del área, como en la vereda San Luis del municipio de Duitama, sobre rocas de la formación Une (Kv2), compuestas por arenisca cuarzosa, con intercalaciones de shales más frecuentes hacia el techo; esta unidad se localiza entre unidades del ambiente estructural y el valle de Duitama y Paipa en algunos sectores, se define como una prominencia topográfica de altura menor a 200 metros respecto a su nivel base, presenta una morfología alomada y alargada, con índice de relieve relativo bajo, una pendiente de muy inclinada a abrupta, de forma irregular. (Ver fotografía 32).

Fotografía 32. Loma residual.



8.2.2.17 Lomo residual (Dires)

Esta unidad se localiza en las Veredas Colorados y Medios del municipio de Paipa, sobre rocas de la formación Tilata (Tst), compuesta por gravas, arenas, arcillas; y esporádicas capas de lignito y sobre la formación Guaguas (Ktg), compuesta por lodolitas prevalecientes; niveles de areniscas cuarzosas y capas de carbón; los lomos residuales con elevaciones del terreno menores a los 200 metros, que presentan morfología alomada, índice de relieve relativo bajo, pendientes muy inclinadas a abruptas, longitud de ladera corta de forma convexa.

En la fotografía 33, observamos un lomo residual, cerca de la cabecera municipal de Paipa, sobre la loma sotacón.

Fotografía 33. Lomo residual.



8.2.2.18 Montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo)

Esta unidad es frecuente en varios sectores del área de estudio, cubre el 13% del ambiente denudacional, se presenta sobre casi todo tipo de roca o depósito, son elevaciones del terreno con alturas menores a 50 metros sobre su nivel base, presentan una morfología colinada, con forma de cresta redondeada, un índice de relieve relativo muy bajo con pendientes suavemente inclinadas a inclinadas, la longitud de la ladera suele ser muy corta a corta, de forma cóncava y convexa, el patrón de drenaje puede ser de diferentes tipos, se encuentran cubiertos por vegetación herbácea, pastos, cultivos etc. (Ver fotografía 34).

Se origina por procesos erosivos y de meteorización intensa, que afecta a rocas blandas o depósitos no consolidados.

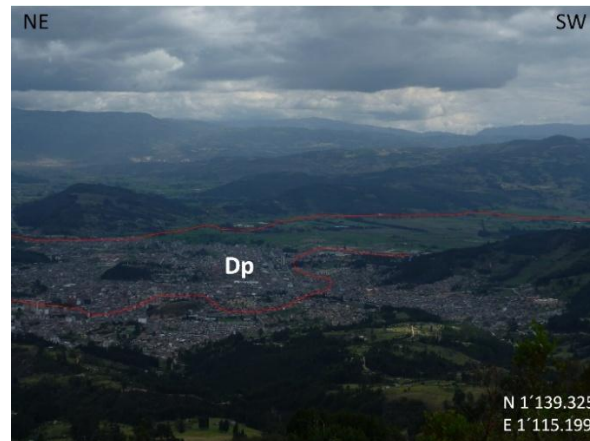
Fotografía 34. Montículos y ondulaciones denudacionales.



8.2.2.19 Planicie (Dp)

Esta unidad se encuentra localizada en el valle que ocupan los municipios de Duitama y Paipa, cubriendo la mayor parte del ambiente denudacional (31%), sobre depósitos aluviales compuestos por gravas, arcilla limosa lacustre y fluvial. Presentan una morfología plana, en especial a lo largo del río Chicamocha, esta porción de terreno presenta una gran extensión, que se encuentra no confinada, con pendientes inferiores a los 5°, presentando un sistema fluvial complejo hacia el cual fluyen aguas de muchos drenajes, siendo este el drenaje principal. (Ver fotografía 35).

Fotografía 35. Planicie.



8.2.2.20 *Planicie colinada residual (Dpcr)*

Esta unidad se localiza en la vereda Marcura, del municipio de Sotaquirá, sobre rocas de las formaciones Ritoque (Kiri) compuesta por limolitas, lodolitas grises y calizas subordinadas, y Los Medios, en su miembro limolítico (Kims), compuesto por limolitas y lodolita; esta unidad presenta un área extensa, de morfología ondulada, de relieve relativo muy bajo, de pendientes Inclclinadas a muy inclinadas de longitud corta, de forma recta a convexa, patrón de drenaje divergente. Se encuentran sobre suelos residuales de poco espesor. (Ver fotografía 36).

Fotografía 36. Planicie colinada residual.



8.2.2.21 *Sierra residual (Dsr)*

Esta unidad se localiza en la vereda San Lorenzo del municipio de Duitama, sobre rocas cretácicas de las formaciones: Conejo (Kscn) compuesta por niveles de shales grises oscuros prevalecientes y niveles de areniscas cuarzosas, Churuvita (Ksch), compuesta por areniscas cuarzosas, shales negros, calizas en proporciones variables según lugares y limolitas silíceas en el techo, Une (Kv2), compuesta por arenisca cuarzosa, con intercalaciones de shales más frecuentes hacia el techo; esta unidad se define como una prominencia topográfica montañosa y alargada, con un índice de relieve relativo moderado, de laderas largas, de forma cóncava, con una pendiente de muy inclinada a abrupta. En esta unidad los procesos de erosión y meteorización son intensos. (Ver fotografía 37).

Fotografía 37. Sierra residual.



8.2.3 AMBIENTE GLACIAL Y PERIGLACIAL

Este ambiente incluye las geoformas generadas por procesos relacionados con la erosión intensa, que ocasiona el movimiento de una masa de hielo. Este ambiente es común en la alta montaña, las cuales fueron cubiertas por glaciares hace miles años o en lugares que presentan masas glaciares en la actualidad. El movimiento de la masa glacial modela el sustrato rocoso, generando sedimentos por la abrasión con las rocas, que son transportados y depositados generando geoformas de este ambiente.

En el área de estudio encontramos el páramo de la Rusia, ocupando un 20% del total del área de estudio, sobre el cual encontramos diferentes geoformas de origen glacial las cuales fueron generadas hace miles de años cuando estuvo cubierto de hielo, modelando el terreno y generando geoformas de ambiente glacial.

En este ambiente predominan laderas estructurales y en contrapendiente que fueron modeladas por procesos glaciares, estas geoformas ocupan la mayor parte de este ambiente, el cual se encuentra sobre alturas superiores a los 3000 metros sobre el nivel del mar. (Ver figura 25).

Los procesos que modelan el ambiente glacial son el resultado de la glaciación pleistocénica, que dio origen a las geoformas presentes en el páramo de La Rusia Los procesos que modelaron este piso son: escurrimientos bajo la superficie del suelo con pequeños hundimientos y posterior arrastre del suelo, depósitos lacustres y fluvio-glaciares que se encuentran en depresiones y

pequeños derrumbes en las morrenas laterales. También se observan grandes rocas de cientos de toneladas dispersas en los valles, evidencia de la actividad glacial en el pasado.

En la zona, se identificaron 15 unidades pertenecientes a este ambiente, principalmente en el páramo de la Rusia. (Ver tabla 10 y figura 26).

Figura 25. Mapa de unidades del ambiente Glacial y Periglacial

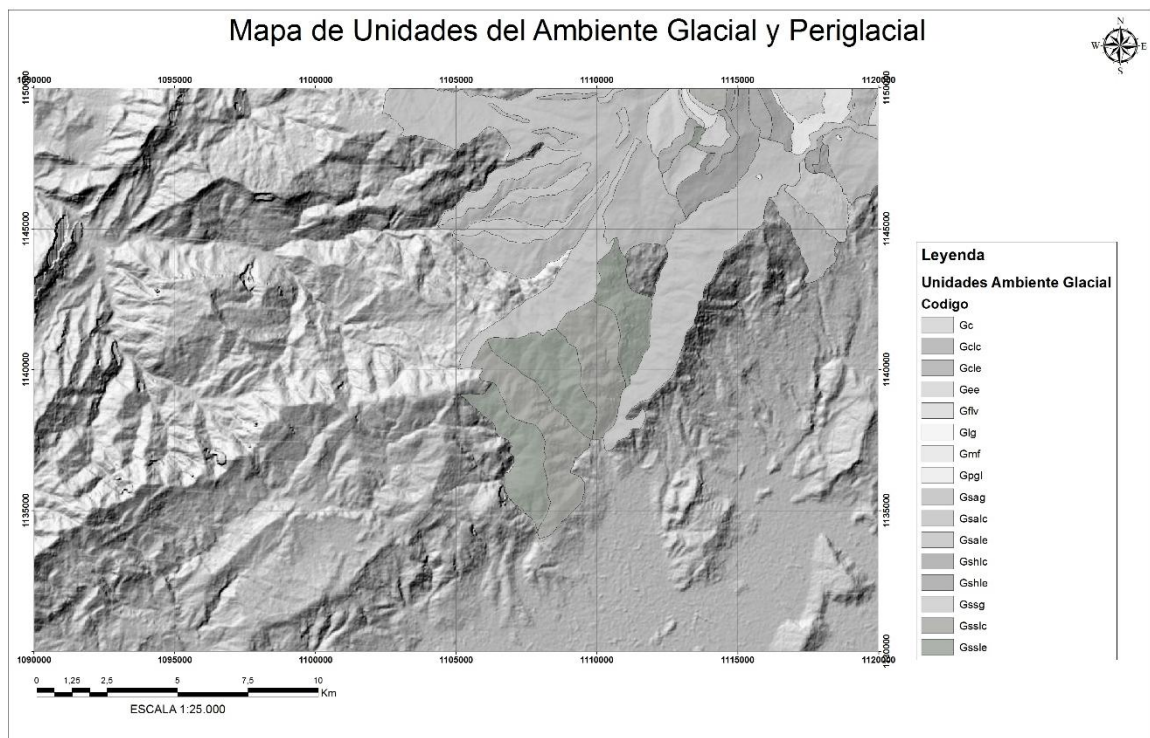


Tabla 10. Unidades del ambiente Glacial y Periglacial

Ambiente Glacial y Periglacial			
Unidad	Nombre	Área m ²	%
Gc	Circo glacial y de nivación	743610,129	0,5595515
Gclc	Ladera contrapendiente de cuesta glaciada	418780,074	0,31512349
Gcle	Ladera estructural de cuesta glaciada	404951,668	0,30471789
Gee	Espolón glaciado	7355168,87	5,53461498

Gflv	Flancos de valle glacial	459054,124	0,34542889
Glg	Laguna glacial	65405,3389	0,04921619
Gmf	Morrena de fondo	551764,173	0,41519132
Gppl	Plano glaciolacustrino	2256359,77	1,69786484
Gsag	Sierra anticlinal glaciada	1075677,79	0,80942566
Gsalc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal glaciada	34312458,7	25,8194273
Gsale	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	41807910,7	31,4596025
Gshlc	Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal glaciada	6910674,32	5,20014188
Gshle	Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada	2031255,22	1,52847825
Gssg	Sierra sinclinal glaciada	1413874,65	1,06391192
Gsslc	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal glaciada	15602910,2	11,7408726
Gssle	Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada	17484101,4	13,1564307
TOTAL		132893957	100

Figura 26. Distribución de unidades de ambiente glacial y periglacial



8.2.3.1 Circo glacial y de nivación (Gc)

Esta unidad se ubica en el páramo de la Rusia, al este de la serranía pan de azúcar, a una altura aproximada de 3700 msnm, en el municipio de Duitama, sobre rocas de la formación La Rusia (Jru), compuesta principalmente por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo. Es una estructura encerrada por paredes en forma cóncava, semicirculares, de longitudes muy cortas a cortas, escarpadas, formando una depresión, que fue originada por la socavación de una masa glacial, esta unidad se presenta en la parte alta de un valle glacial. En la figura 27 se observa el circo glacial al fondo, con otras geoformas asociadas al ambiente glacial. (Ver fotografía 38).

Fotografía 38. Circo glacial, morrena de fondo y flancos de valle glacial



Figura 27. Circo glacial



Fuente. Google Earth.

8.2.3.2 Ladera contrapendiente de cuesta glaciada (Gclc)

Esta unidad se encuentra localizada en la vereda el Coconubo, en las partes altas del municipio de Santa Rosa de Viterbo, sobre rocas de la formación La Rusia (Jru), compuesta principalmente por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo; esta unidad se caracteriza por tener pendientes definidas, en contra de la pendiente, con índice de relieve relativo bajo, pendientes inclinadas a muy inclinadas de longitud larga a muy larga, en forma escalonada, a veces se asocian a otras geoformas del ambiente glacial. (Ver fotografía 39).

Fotografía 39. Laderas de cuesta glaciada.



8.2.3.3 Ladera estructural de cuesta glaciada (Gcle)

Esta unidad se encuentra localizada en la vereda el Coconubo, en las partes altas del municipio de Santa Rosa de Viterbo, sobre rocas de la formación La Rusia (Jru), compuesta principalmente por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo; las laderas se encuentran a favor de la pendiente del terreno, presentan un relieve relativo bajo, con una pendiente inclinada a muy inclinada, longitud de ladera larga a muy larga de forma recta a escalonada.

En la fotografía 39 se observa, el contraste de laderas estructurales y laderas en contrapendiente de cuesta glaciada

8.2.3.4 *Espolón glaciado (Gee)*

Esta unidad se localiza en el páramo de la Rusia, sobre rocas de las formaciones La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo, y Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas; los espolones se definen como salientes simétricas, perpendiculares a la tendencia estructural de la región, de morfología alomada, con longitud de ladera corta a larga, en forma recta, limitadas por valles en forma de U. se originan por procesos glaciales que modelan el terreno, generando diferentes geoformas. Estos espolones pueden variar en longitud y diferencia de alturas, uno respecto a otro.

En la fotografía 40, observamos un par de espolones glaciados, asociados a otras geoformas de origen glacial.

Fotografía 40. Espolón glaciado



8.2.3.5 *Flancos de valle glacial (Gflv)*

Esta unidad se encuentra localizada en la parte baja del circo glacial de la fotografía 38, en el páramo de la Rusia, sobre rocas de la formación Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas; los flancos del valle glacial son laderas en forma cóncava de pendiente abrupta a muy abrupta, de longitud corta a moderadamente larga. Estos flancos son generados por la acción erosiva del glacial y presiones laterales de las masas de hielo sobre la roca, reformando los flancos originales del valle. En la

fotografía 38, se aprecian los flancos de un valle glacial, los cuales se encuentran en la parte baja de un circo glacial.

8.2.3.6 *Laguna glacial (Glg)*

Esta unidad se localiza en el páramo pan de azúcar, sobre rocas de la formación La Rusia (Jru), constituida por compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo; esta unidad se define como cuerpos de agua sobre zonas montañosas glaciadas, se originan en diferentes partes del ambiente glacial los que se forman en planicies glacio-lacustrinas, en la base de circos glaciales etc. En la zona encontramos la laguna pan de azúcar, la cual se ubica en un plano glacio-acustrino, constituido por materiales fino arcillosos.

En el área que encontramos del páramo se localizan 5 lagunas glaciales las cuales varían una a otra en forma y dimensiones. La laguna más grande es la de pan de azúcar con un área aproximada de 8650 metros cuadrados, allí nace el rio Chiticuy, esta laguna se encuentra en una etapa de senectud, en la cual se ha empezado a cubrir de turba. (Ver fotografía 41).

Fotografía 41. Laguna pan de azúcar.



8.2.3.7 *Morrena de fondo (Gmf)*

Esta unidad se localiza en el páramo de la Rusia, en el municipio de Duitama sobre rocas de la formación Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre,

rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas; esta unidad consiste en montículos de forma alomada localizados en el fondo de valles glaciales, que se constituyen de fragmentos de roca en una matriz arcillosa o arenosa muy compacta. En las morrenas de fondo existen acumulaciones de grandes masas de sedimento. Se originan por el transporte de sedimentos de la masa glacial. (Ver fotografía 38).

8.2.3.8 Plano glaciolacustrino (Gpgl)

Esta unidad se localiza al NE, de la zona de estudio en el páramo de la Rusia (Jru), sobre rocas de la formación La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo. Esta unidad se define como un área plana o suavemente inclinada, que se ha originado por depositación de sedimentos glaciales en los límites de un glaciar. Estos sedimentos que la conforman son materiales finos como limos, arcillas y esporádicamente arenas y gravas. Se encuentra entre montañas glaciadas, estos planos son de forma alargada relacionados con lagunas glaciales. (Ver fotografía 42).

Fotografía 42. Plano glaciolacustrino



8.2.3.9 Ladera de contrapendiente sierra anticlinal glaciada (Gsalc)

Esta unidad se localiza en el páramo de la Rusia, sobre rocas de las formaciones La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo, y Montebel (Jlm), compuesta por

limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas; se presenta como laderas de longitud corta a extremadamente larga, de forma recta a convexa, la particularidad de esta unidad es que los estratos se encuentran buzando en sentido opuesto a la pendiente de la ladera. El origen de esta unidad se asocia a procesos erosivos de la masa glacial. Esta unidad ocupa el 25% del ambiente glacial, puesto que se encuentran grandes laderas en contrapendiente correspondientes a esta unidad. En la fotografía 43, observamos una ladera en contrapendiente de longitud moderadamente larga a larga, con relieve relativo alto y pendiente muy inclinada a abrupta. (Ver fotografía 43).

Fotografía 43. Ladera de contrapendiente sierra anticlinal glaciada.



8.2.3.10 Ladera estructural sierra anticlinal glaciada (Gsale)

Esta unidad se localiza en el páramo de la Rusia, sobre rocas de las formaciones La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo, y Montebel (Jlm), compuesta por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros y areniscas cuarzosas arcillosas; estas son laderas de longitudes que varían de cortas a extremadamente largas de forma recta a convexa, con pendiente abrupta a muy abrupta, en la que las capas se encuentran buzando en el mismo sentido de la pendiente. Esta geoforma se encuentra en el lado opuesto a la geoforma ladera de contrapendiente, teniendo así sobre el mapa una intercalación de estas dos unidades. (Ver fotografía 44).

Fotografía 44. Ladera estructural sierra anticlinal glaciada.



8.2.3.11 Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal glaciada (Gshlc)

Esta unidad se localiza en la serranía Pan de Azúcar, del páramo de La Rusia, sobre rocas de la formación La Rusia (Jru) constituidas por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo; esta unidad se define como laderas con estratos dispuestos en contra de la pendiente, con longitudes cortas a largas, de forma cóncava, de pendientes escarpadas, localizadas en los alrededores de circos glaciales.

8.2.3.12 Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle)

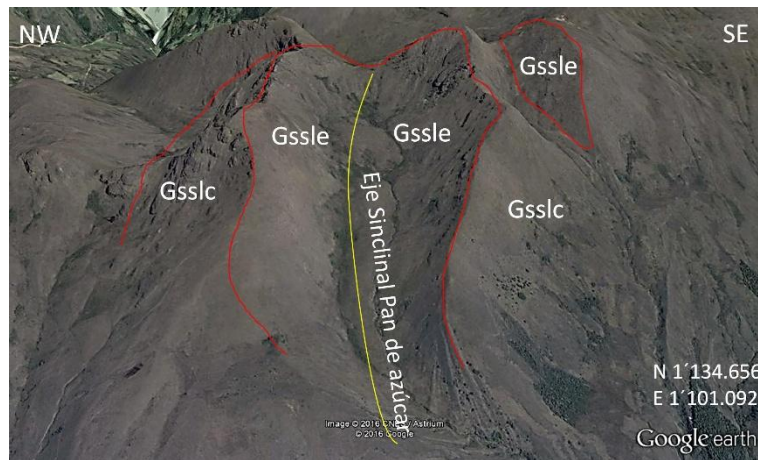
Esta unidad se localiza en el páramo de La Rusia sobre rocas mesozoicas de la formación La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo, son laderas que presentan una inclinación de los estratos a favor de la pendiente, muy inclinadas a abruptas, de longitud variable. Esta unidad recibe el nombre de homoclinal porque no es relacionable con una estructura anticlinal o sinclinal. Se origina por procesos erosivos glaciales que actúan sobre las rocas.

8.2.3.13 Sierra sinclinal glaciada (Gssg)

Esta unidad se localiza sobre las partes altas de la vereda Avendaños, en la ciudad de Duitama, sobre rocas de la formación La Rusia (Jru), compuesta por

conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo; se define como una prominencia de la topografía, que presenta morfología colinada y alargada que la forma un eje sinclinal y la limitan laderas en contrapendiente, su origen obedece a procesos erosivos glaciales que han formado una depresión que conforma la sierra. En el área de estudio encontramos el sinclinal pan de azúcar el cual conforma en sus alrededores una sierra sinclinal glaciada. En el medio de estas sierras se forman planos glaciolacustrinos, sobre los cuales existen lagunas glaciales. (Ver figura 28).

Figura 28. Sinclinal pan de azúcar y sus geoformas asociadas.



Fuente. Google Earth.

8.2.3.14 ***Ladera de contrapendiente sierra sinclinal glaciada (Gsslc)***

Esta unidad se localiza en las partes altas de la vereda Avendaños, sobre el páramo de la Rusia, en rocas paleozoicas de la formación La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo; esta unidad se define como una ladera de longitud corta a larga, de forma cóncava a convexa, con una pendiente abrupta a muy abrupta, los estratos se encuentran dispuestos en contra de la pendiente. Estas laderas se definen como los límites de una sierra sinclinal.

8.2.3.15 Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada (Gssle)

Esta unidad se localiza en las partes altas de la vereda Avendaños, sobre el páramo de la Rusia, en rocas paleozoicas de la formación La Rusia (Jru), compuesta por conglomerados rojos y verdes, areniscas conglomeráticas, lodolitas y areniscas de cuarzo; es una ladera con longitudes de larga a muy larga, con una pendiente que varía de mayor inclinación a menor inclinación a medida que se acerca al eje de la estructura sinclinal. La ladera estructural es la parte media de una sierra sinclinal.

8.2.4 AMBIENTE FLUVIAL Y LAGUNAR

Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre.

En la zona encontramos la influencia de ríos como lo son: Rio Chicamocha, Rio Palermo, Rio Chiticuy, algunas quebradas que descienden del páramo de la Rusia, entre otros, que son de gran influencia en el modelamiento del paisaje, generando geoformas asociadas a estos. (Ver figura 29).

En la zona encontramos, 6 unidades correspondientes a este ambiente, (Ver tabla 11 y figura 30).

Figura 29. Mapa de unidades del ambiente Fluvial y Lagunar

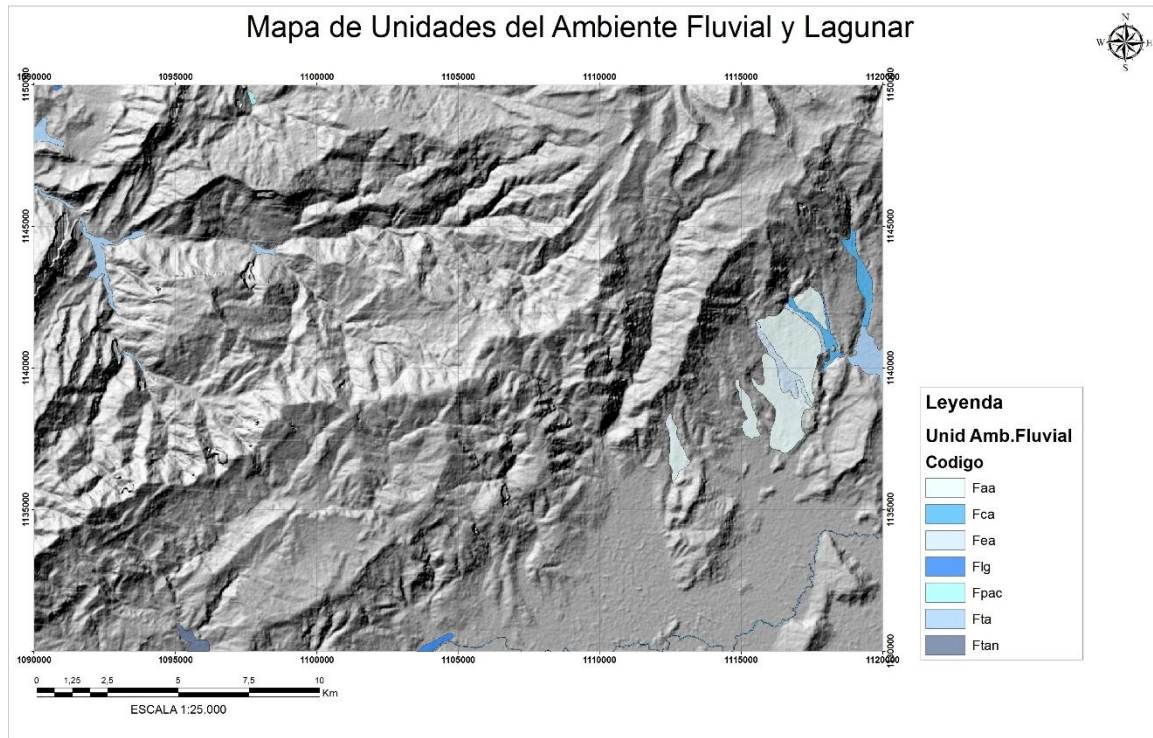
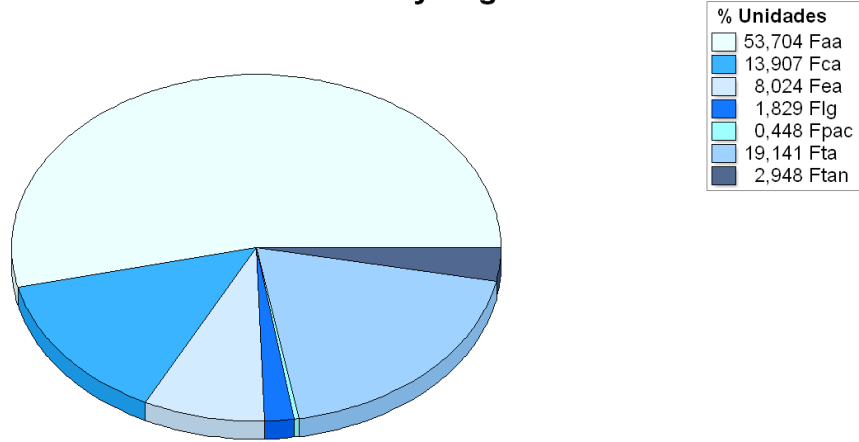


Tabla 11. Ambiente fluvial y lagunar

Ambiente Fluvial			
Unidad	Nombre	Área m ²	%
Faa	Abanico fluviotorrencial	9196571,89	53,7041962
Fca	Cauce aluvial	2381488,88	13,9069153
Fea	Escarpe de abanico aluvial	1374021,65	8,02372115
Flg	Laguna	313141,469	1,82861735
Fpac	Planicie aluvial confinada	76656,1195	0,4476402
Fta	Terraza de acumulación	3277792,23	19,1409581
Ftan	Terraza de acumulación antigua	504821,821	2,94795174
TOTAL		17124494,1	100

Figura 30. Distribución de las unidades de ambiente Fluvial y Lagunar

Unidades de Ambiente Fluvial y Lagunar



8.2.4.1 Abanico fluviotorrencial (Faa)

Esta unidad se localiza en las veredas San Antonio Norte y Parroquia, pertenecientes al municipio de Duitama, sobre abanicos aluviales (Qa), compuestos principalmente por gravas, arcilla limosa lacustre y fluvial, esta unidad es una superficie en forma de cono, con morfología plana, de laderas cóncavas y convexas, suavemente inclinada a inclinada, de longitud larga a extremadamente larga. Su origen está relacionado con flujos torrenciales de un río o quebrada que va depositando sedimentos sobre la planicie de Duitama. Estos abanicos van paralelos a la corriente de un río. (Ver fotografía 45).

Fotografía 45. Abanico Fluviotorrencial



8.2.4.2 Cauce aluvial (Fca)

Esta unidad corresponde al Rio Chicamocha, el cual se extiende en el sur del área, desde Duitama hasta Paipa, se localiza sobre depósitos aluviales, recorre la planicie (Dp), que conforma el valle de Duitama y Paipa, este es un canal de forma irregular excavado por erosión de la corriente del Rio Chicamocha, generando cauces de tipo meándrico. (Ver fotografía 46).

Fotografía 46. Cauce aluvial del rio Chicamocha.



8.2.4.3 Escarpe de abanico aluvial (Fea)

Esta unidad se localiza en la vereda San Antonio Norte, del municipio de Duitama, sobre depósitos de abanicos aluviales, se define como un plano subvertical, de longitud muy corta, de forma convexa a cóncava, que se encuentra en los bordes de un abanico aluvial. Su origen está relacionado con la erosión de la red de drenajes que pasa por el abanico, esta va erosionando y formando escarpes alrededor de los drenajes. Por lo general estos escarpes van aumentando su altura cuando se van acercando al ápice del abanico y viceversa.

8.2.4.4 Planicie aluvial confinada (Fpac)

Esta unidad se encuentra ubicada en la vereda Guacamayas del municipio de Paipa, en la quebrada palo negro, sobre rocas de la formación Montebel (Jlm), conformada por limolitas grises, ocre, rojizas, shales negros, areniscas cuarzosas arcillosas, se define como una franja de terreno de morfología plana, angosta e

inundable, que en sus alrededores presenta geformas de morfología colinada o alomada, las cuales bordean los cauces fluviales. Estas planicies están constituidas por material aluvial como lo son arenas, limos y arcillas. (Ver figura 31).

Figura 31. Planicie aluvial confinada



Fuente. Google Earth.

8.2.4.5 Terraza de acumulación (Fta)

Esta unidad se localiza sobre el río Palermo en el corregimiento del mismo nombre, perteneciente al municipio de Paipa, sobre depósitos aluviales que se encuentran a los lados del río; es una superficie alargada, plana, modelada sobre sedimentos aluviales, en forma paralela presentando escarpes de diferente altura a lo largo del cauce del río, se relaciona con procesos erosivos y de acumulación aluvial en antiguas llanuras de inundación. Se constituye por gravas, arenas, limos y arcillas. (Ver fotografía 47).

Fotografía 47. Terraza de acumulación, Rio Palermo



8.2.4.6 Terraza de acumulación antigua (Ftan)

Esta unidad se localiza en la vereda Tierra Negra del municipio de Sotaquirá sobre depósitos aluviales; se define como una superficie alomada en forma de abanico de grandes extensiones, presenta pendientes suavemente inclinadas de los 5° a 10°. Su origen es relacionado a la disección y tetanismo de abanicos y planicies aluviales antiguas. Su depósito está constituido por gravas, arenas y arcillas. (Ver figura 32).

Figura 32. Terraza de acumulación antigua, Sotaquirá



Fuente. Google Earth.

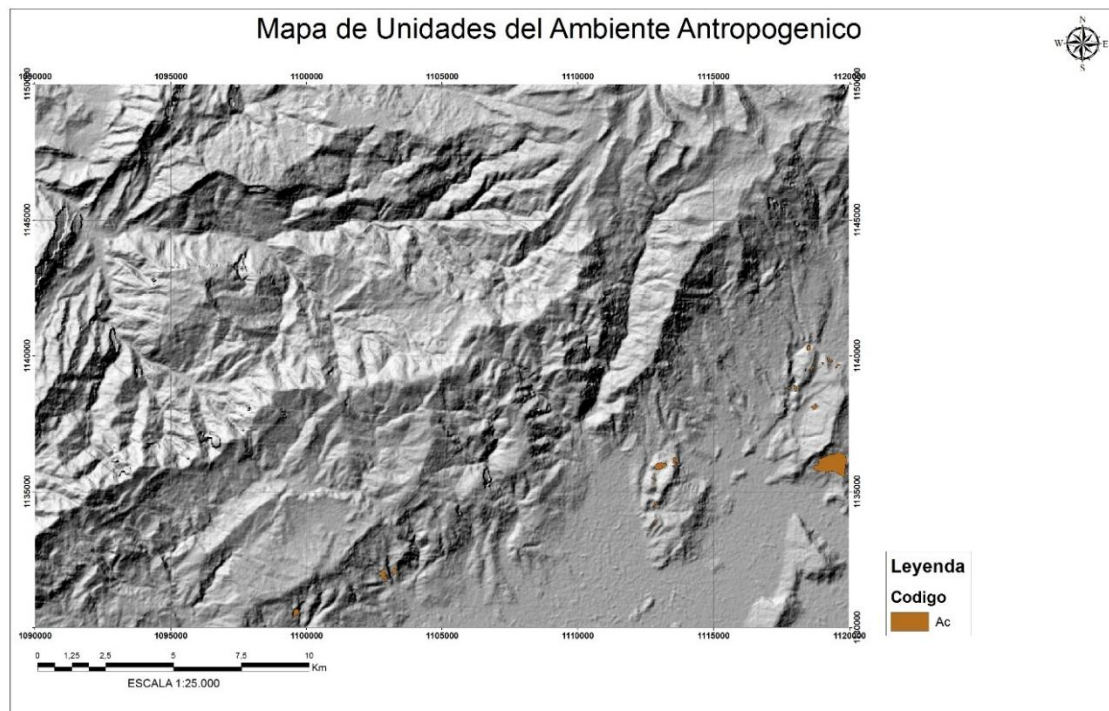
8.2.5 AMBIENTE ANTROPICO

Este ambiente es el resultado de la intervención del hombre en el terreno, el cual tiene como objetivo realizar construcciones, obras de ingeniería, nuevas vías, embalses para acumulación de agua o canteras para la explotación de un material de interés, todo este tipo de obras sobre el terreno modifican el ambiente, generando así un nuevo ambiente, que es muy influyente en los otros, puesto que la intervención del hombre además de conseguir un objetivo, a veces llega a exponernos más a fenómenos naturales.

El hombre muchas veces altera con su accionar el equilibrio natural, originando el llamado sistema antrópico, integrado por elementos que surgen del desarrollo tecnológico, urbanístico, industrial, y cultural en general. Casi no podemos hallar un paisaje donde el hombre no ha colocado su impronta, y lamentablemente, generado riesgos, que también se llaman antrópicos, por ser el hombre el que los causa.³¹

En la zona, encontramos canteras; de caliza, arena, gravas etc. (Ver fotografía 33). Estas se distribuyen sobre toda el área. (Ver tabla 12).

Figura 33. Mapa de unidades del ambiente Antropogénico



³¹ <http://deconceptos.com/ciencias-sociales/antropico>

Tabla 12 Ambiente Antropogénico

Ambiente Antrópico			
Unidad	Nombre	Área m2	%
Ac	Canteras	1090951,39	100
TOTAL		1090951,39	100

8.2.5.1 Cantera (Ac)

Esta unidad se localiza en diferentes áreas, sobre rocas de las formaciones: Tibasosa, Une (Kv2), Plaeners (Kg2), Labor y Tierna (Kg1) y Medios (Kims), de las cuales se extraen materiales principalmente para construcción, como lo son arenas, gravas y calizas. Esta unidad se define como una excavación del orden decimétrico, forma irregular, en terracedos etc., que ha sido realizada por el hombre. (Ver figura 34).

Figura 34. Cantera al NE de Duitama



Fuente. Google Earth.

8.3 MORFODINAMICA

Los procesos morfodinámicos son una serie de procesos simultáneos, a través de los cuales los agentes morfogenéticos externos modelan la superficie terrestre, generando geoformas en el paisaje. Estos procesos morfodinámicos comprenden

la erosión de las rocas, el transporte de sedimentos y materiales relacionados con la remoción en masa y la sedimentación de estos. Los procesos dependen de factores externos como las condiciones ambientales, el tipo de geoformas asociada, factores internos como la composición mineralógica de la roca.

El principal proceso morfodinámico es la denudación, que es el modelador y generados de las geoformas. El proceso de denudación comienza con la meteorización y erosión de las rocas en su posición original, influenciada por elementos climáticos como las precipitaciones y los cambios de temperatura

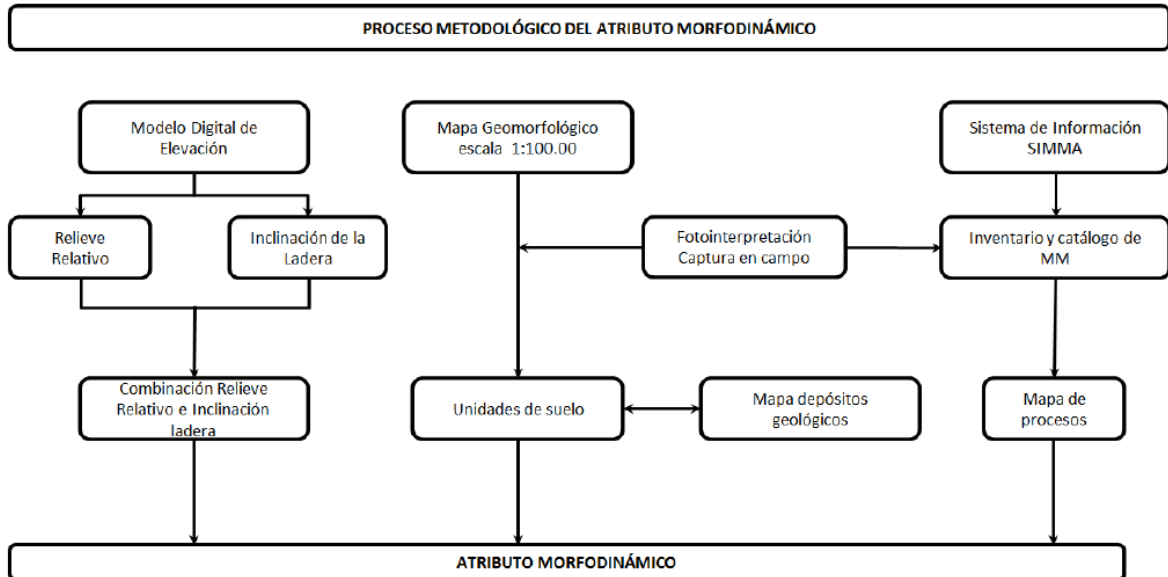
La erosión se refiere a la remoción de partículas de las rocas por agentes como el viento, el agua, el hielo etc. Estos las transportan y definen el ambiente correspondiente de dicha geoforma. Concluyendo así que la erosión es la responsable de la disminución del relieve.

Finalmente se depositan los materiales removidos, cuando el agente que transporta el material no lo puede desplazar más, generando depósitos y disposiciones en el terreno que tienen características del agente que las modelo.

Para la generación del atributo morfodinámico se ha hecho a través de un proceso de agrupamiento, el cual se construye a partir de la representación cartográfica de los suelos transportados vistos como geoforma, del inventario de procesos a partir del sistema de información SIMMA, de la fotointerpretación, del inventario de campo y las variables geométricas derivadas del modelo DEM. Es través de este agrupamiento que obtenemos una distribución espacial de los movimientos y el comportamiento del relieve asociado a las características del material.³²

³² Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, SGC, Bogotá 2013

Figura 35. Proceso metodológico en la construcción del atributo morfodinámico.



Fuente. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Pág. 65.

La figura 35, nos muestra los componentes temáticos necesarios para construir el mapa morfodinámico, para lo cual son necesario los siguientes insumos:

- Modelo digital de elevación.
- Unidades de suelo derivadas del mapa geomorfológico.
- Inventario de movimientos en masa.

Del modelo digital de elevación salen dos variables, el relieve relativo y la inclinación de la ladera; el mapa geomorfológico se califica de acuerdo a las unidades de suelo y se digitalizan los polígonos de los movimientos en masa para posteriormente calificarlos.

8.3.1 INDICE DE RELIEVE RELATIVO (RR)

Se hace referencia a que el relieve relativo representa la diferencia de altitud de la geoforma, independientemente de su altura absoluta o nivel del mar. Ella se mide por la diferencia de alturas entre la parte más baja y alta, llámese colina, montaña, meseta, terraza y otros. (INGEOMINAS, 2004), cuando el análisis de la geoforma lo hace un intérprete (que sería lo ideal), pero en el uso de algoritmos que

permitan hacer esta evaluación tendremos que recurrir a la siguiente definición: El índice de relieve relativo se define como la diferencia entre la mayor elevación y la menor elevación por unidad de área (Chacón, T., 1993) y se expresa como la máxima diferencia de altura del terreno por Km².³³

Para este caso cuando se usa ArcGis 10.2.2 como herramienta de análisis, este índice se genera utilizando la orden (Focal Statics) con un parámetro de 30 píxeles que es el valor aproximado de un kilómetro cuadrado. (Para modelos DEM de un arcosegundo.) Al generar el índice de relieve relativo con ArcGIS, tenemos que reclasificarlo en los intervalos de altura de la tabla 13, y luego darle la calificación respectiva. A esta capa temática la llamaremos CALRELIE.

Tabla 13. Calificación del relieve relativo

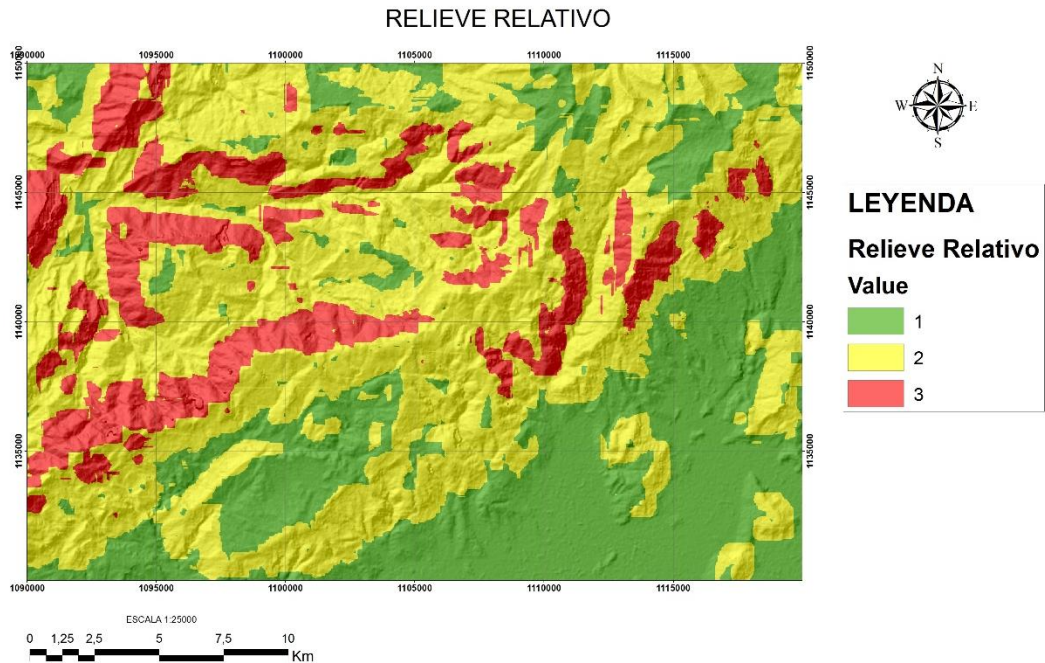
INTERVALOS DE ALTURA	DESCRIPCION DEL RELIEVE	RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL	CALRELIE
< 50m	Muy bajo.	Materiales muy blandos y erosionables.	1
50 – 200 m	Bajo.	Blando erosionable.	1
200 – 400 m	Moderado.	Moderadamente blando y erosión alta.	2
400 – 1000 m	Alto.	Resistente y erosión moderada.	3
1000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

Fuente. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Pág. 66.

El relieve relativo es un factor determinante en la generación de movimientos en masa, ya que favorece la acción de la gravedad, teniendo a mayores pendientes más susceptibilidad a que un movimiento genere más energía. (Ver figura 36).

³³ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, SGC, Bogotá 2013

Figura 36. Mapa clasificación susceptibilidad relieve relativo



8.3.2 INCLINACION DE LA LADERA

La inclinación es un factor importante puesto que en donde la inclinación de la ladera es mayor, es más favorable un movimiento en masa, aunque esto también es dependiente del material que encontremos en la ladera. La inclinación también nos indica el material, ya que por ejemplo si encontramos rocas con una inclinación muy escarpada, esto nos indica que es un material muy resistente.

La inclinación de la ladera se realiza con la herramienta ArcGIS 10.2.2, con el insumo del modelo digital de elevación, en base a este se realiza un mapa de pendientes con la función slope, luego se reclasifica en los valores determinados en la tabla 14, y se califica, generando una capa temática que llamaremos CALINCLI. (Ver figura 37).

Figura 37. Mapa clasificación susceptibilidad Inclinación de la ladera

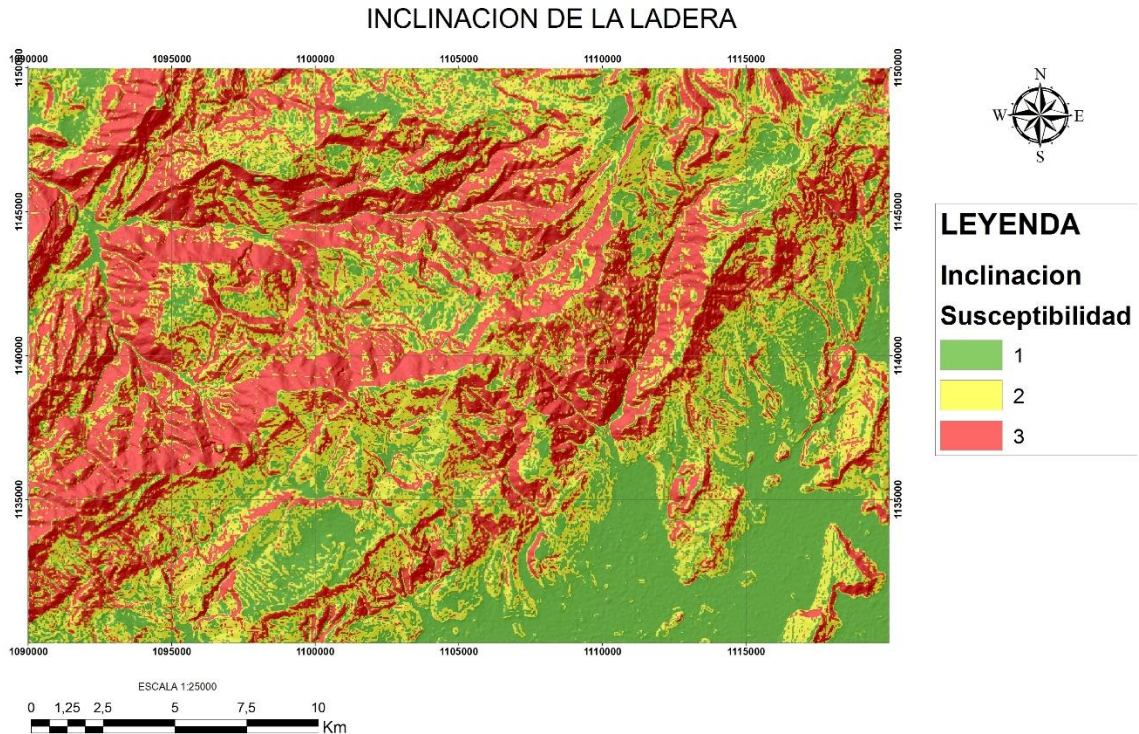


Tabla 14. Calificación de la inclinación de la ladera

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

Fuente. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Pág. 67.

8.3.3 COMBINACION DEL RELIEVE RELATIVO Y LA INCLINACION DE LADERA

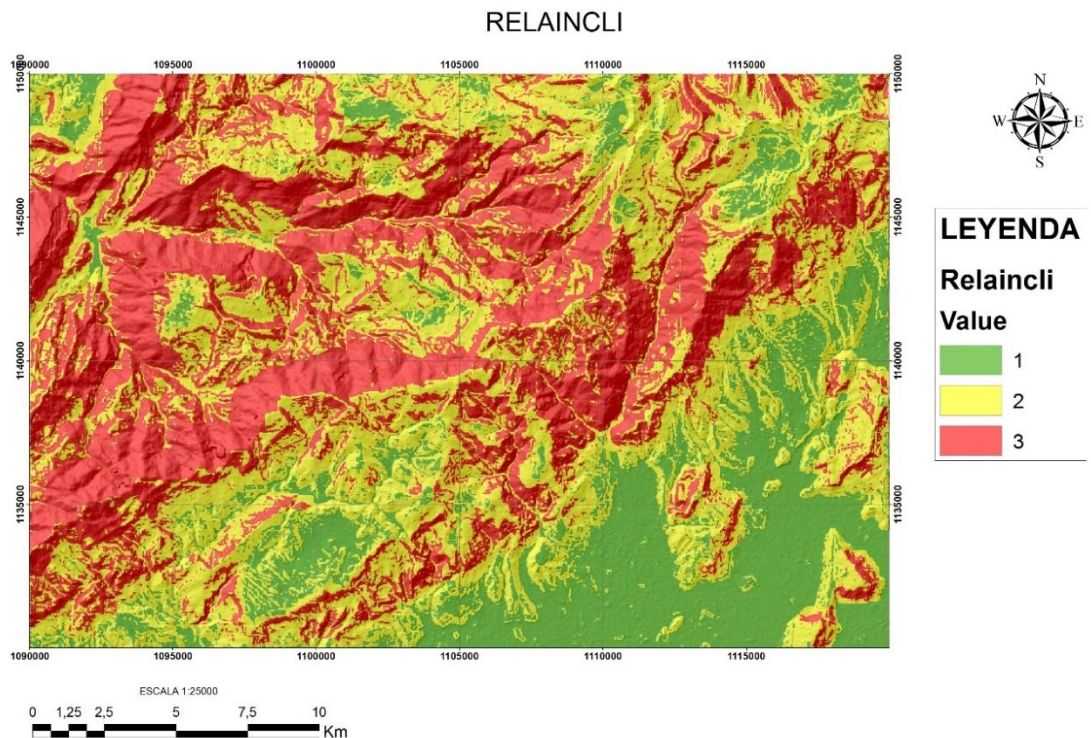
La combinación de estas dos capas temáticas, generan una capa que llamaremos RELAINCLI, la cual relaciona dos elementos geomorfológicos con mayor tendencia a movimientos en masa, aunque es importante aclarar que en también influyen factores como el clima, el tipo de suelo, la posición geográfica etc. Entonces son factores que contribuyen a estos fenómenos, pero no son directamente los detonantes.

La suma de estas dos capas se hace teniendo en cuenta la siguiente función:

$$\text{RELAINCLI} = 0,60 \text{ RR} + 0,40 \text{ IL}$$

Esta suma se realiza mediante la función Raster Calculator de ArcGIS, obteniendo una capa llamada RELAINCLI; esta función nos muestra que el relieve relativo equivale al 60% de esta capa y el 40% equivalentes a la inclinación de ladera, aunque los dos son importantes se le da más peso al relieve relativo. La capa obtenida es una de las tres capas que utilizaremos para realizar el mapa morfodinámico. (Ver figura 38).

Figura 38. Mapa clasificación susceptibilidad Relaincli



8.3.4 UNIDADES DE SUELO

Las unidades de suelos son materiales resultantes de la acción dinámica de los procesos geomorfológicos y de agentes naturales, cuyo medio de transporte puede ser el agua, el hielo y el viento, con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, los cuales son depositados o llevados a los sitios que ocupan actualmente. Estos materiales son de carácter granular heterogéneo, no cohesivo, inconsolidado, compuesto de partículas sólidas y pueden tener materia orgánica. Así, la clasificación de los materiales, granulometría, forma y tamaño, dependen del medio de transporte.

Estas unidades son tomadas del mapa geomorfológico, utilizando la tabla 15, en la cual se muestran las diferentes unidades de suelo para cada ambiente morfogenético y su respectiva calificación.

Para la realización de esta capa se necesita tener el mapa geomorfológico para calificar cada unidad de acuerdo al tipo de depósito, si no corresponde a un depósito el valor de calificación asignada es cero. Al final obtenemos un mapa de unidades de suelo que llamaremos UNISUELOS. (Ver figura 39).

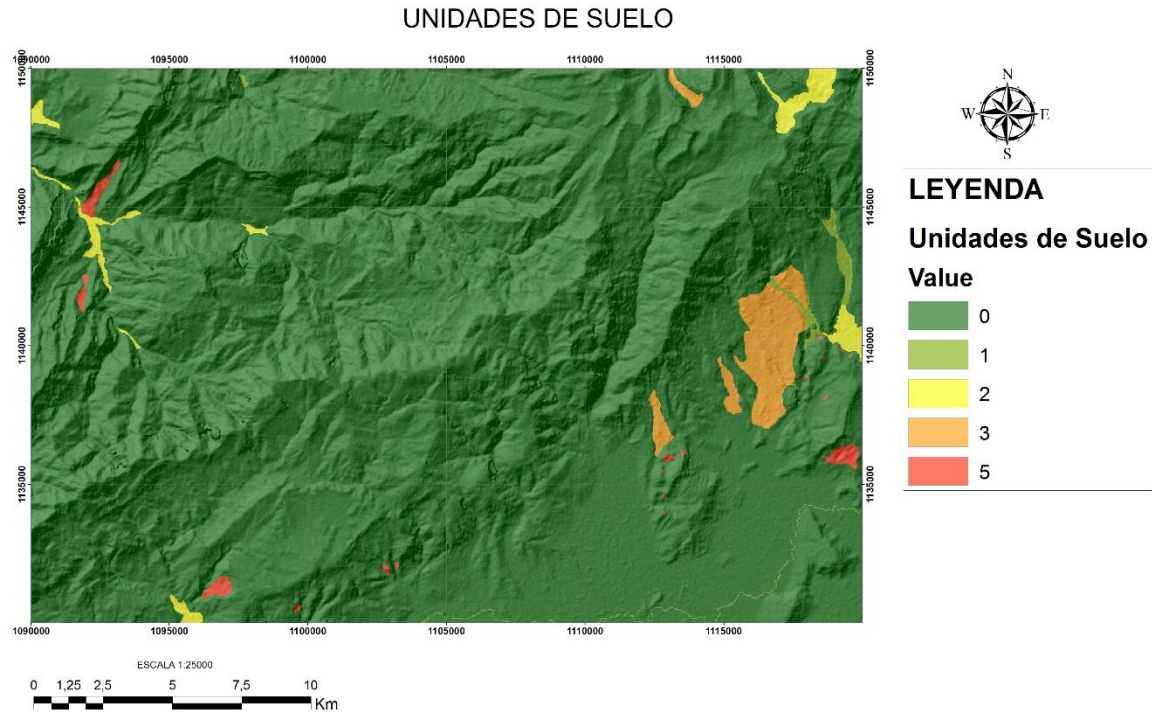
Tabla 15. Calificación de depósitos

Ambiente	Depósito	Geoforma Asociada	Equivalente Geológico	Cal
Denudacional	Depósitos coluviales	Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión y Conos de deyección, Glacis de acumulación	Qc/Qd/Q2v/Qt1/Q/Q2c/Qdp/Qcol/Qdt /Qac/Qtf/Qgd1/Qg d2	5
	Depósitos de detritos	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de detritos, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de detritos.	Qco/Q/Qdt	4
	Depósitos de tierras	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de tierras, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de tierras	Qco	5
	Depósitos de terraza sobre elevada	Terraza sobreelevada o colgada	Qt1	4
	Depósitos de terraza sobre elevada	Planos aterrazados o duricostras, Terrazas o mesas calcretas o silicretas	Qcf	1
	Depósitos lodos	Cono o lóbulo de flujo de lodo	Qlf	5

Fluvial	Depósitos de cauce y llanura aluvial	Cauce activo y abandonado, albardones, barras, cuencas de decantación, lagos en media luna, lagunas naturales, meandros abandonados, planicie o llanura de inundación, planicies y deltas lacustrinos, planos anegadizos, planos y artezas lagunares	Qal2/Qac/Qar/Qal/Q2-al/Qalu - Qal/Q2cal/Qo1/Qa/Q2aldi/Qb/Qall/Q2alpr/Qlal/Qo2/Q2alh/Q2alca	1
	Depósitos de terrazas aluvial	Terrazas de erosión, terrazas de acumulación subreciente, terrazas de acumulación antigua, terrazas de depositación y escarpes de terraza	Qt/Qt2/Q2t2	2
	Depósitos paudales	Artezas lagunares y planos anegadizos.	Q2m/Q2alp	1
	Depósitos lagunares	Lagos en media luna y meandros abandonados.	Q2l/Ql/Q2l/Qfl/Qlp	1
	Depósitos de abanicos aluviales	Abanicos fluvio torrentiales, conos de deyección, deltas de desborde natural, deltas lacustrinos y escarpes de abanicos fluviales	Qab/Q2cal/Qc/Q1ab/Q2g/Q1ab/Qaa/Qap1/Qcal	3
Glacial	Depósitos fluvio glaciares/glaciofluviales	Eskers y Kames	Qmfg/Qg/Qfg/Q mfg	4
	Depósitos glaciolacustrinos	Planos glaciolacustrinos	Qf/Qg	2
	Depósito glacial till de ablación	Morrenas frontales y laterales	Qf/Qg/Qma/Qm/Qmr/Qmfg	3.5
	Depósito glacial till basal	Morrenas de fondo y morrenas periglaciales	Qf/Qg	3

Fuente. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Pág. 69.

Figura 39. Susceptibilidad de unidades de suelo

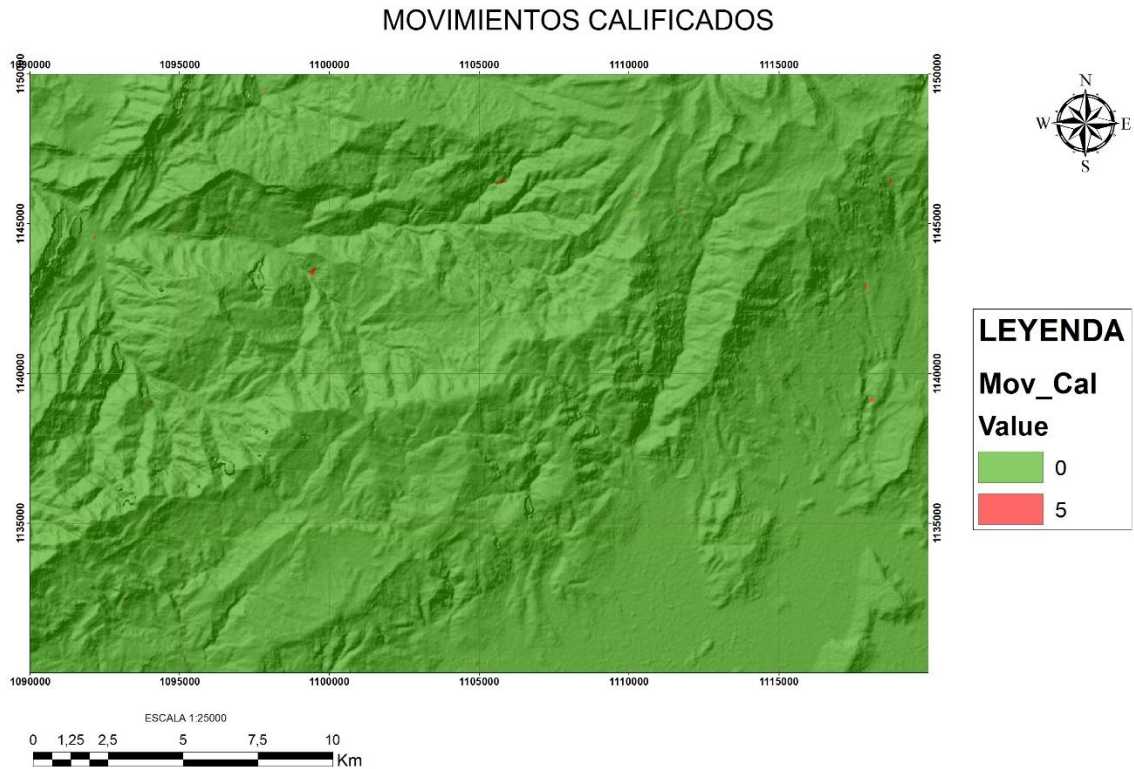


8.3.5 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS

Los movimientos en masa son incorporados como un atributo morfodinámico que se incorpora como una geoforma llamada Deslizamientos indiferenciados Ddi, que no son cartografiados en el mapa geomorfológico por sus dimensiones, pero son de gran importancia en la realización del mapa morfodinámico.

La calificación de los movimientos está dada como 5 para todos los movimientos y como cero al resto del área. Esta calificación de toda el área se hace para poder sumar los mapas en ArcGIS. La capa obtenida se le asigna el nombre MMCAL (movimientos en masa calificados). (Ver Figura 40).

Figura 40. Movimientos calificados



8.3.6 COMPILACION DE RESULTADOS

Se define como la suma 3 capas temáticas, RELINCLI + UNISUELOS + MMCAL, estas se suman con la función raster calculator de ArcGIS, con la siguiente función:

$$(RELINCLI + UNISUELOS + MMCAL) / 3$$

Esta función nos indica que cada capa temática tiene el mismo porcentaje al sumarlas, dando igual importancia a las 3. El resultado obtenido es el mapa Morfodinámico, el cual se interpreta con valores de susceptibilidad. (Ver figura 41).

La calificación dada, determina el grado de susceptibilidad del terreno. (Ver tabla 16).

Figura 41. Mapa de Morfodinámica

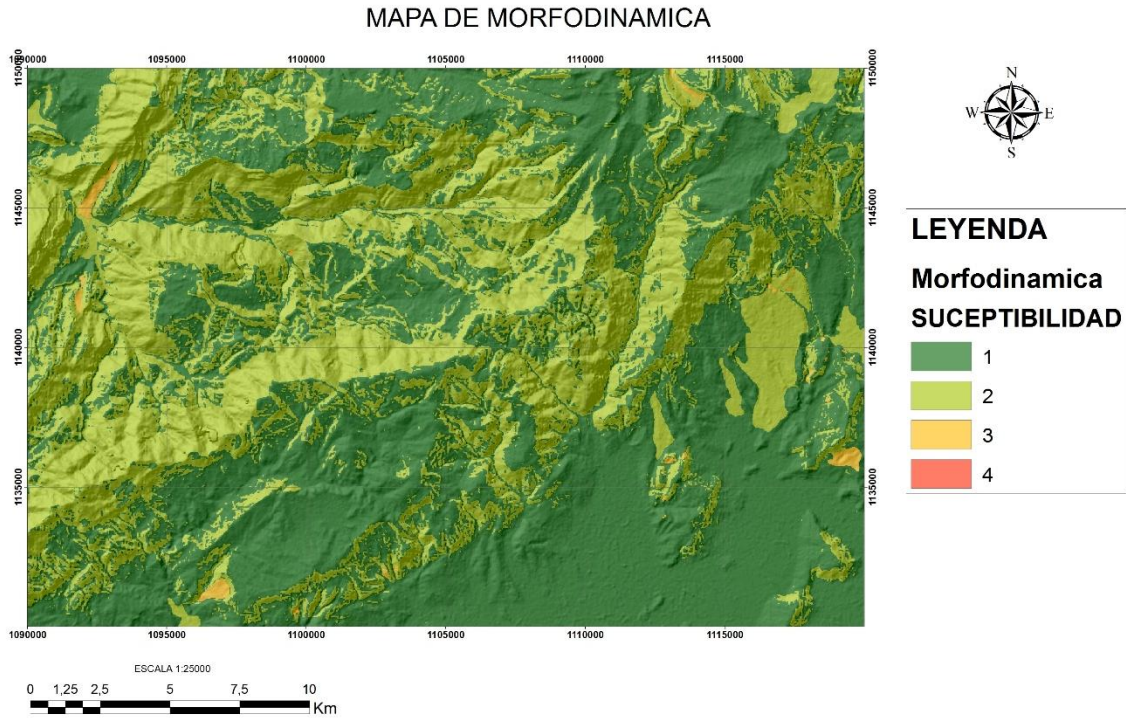


Figura 42. Porcentajes susceptibilidad morfodinámica

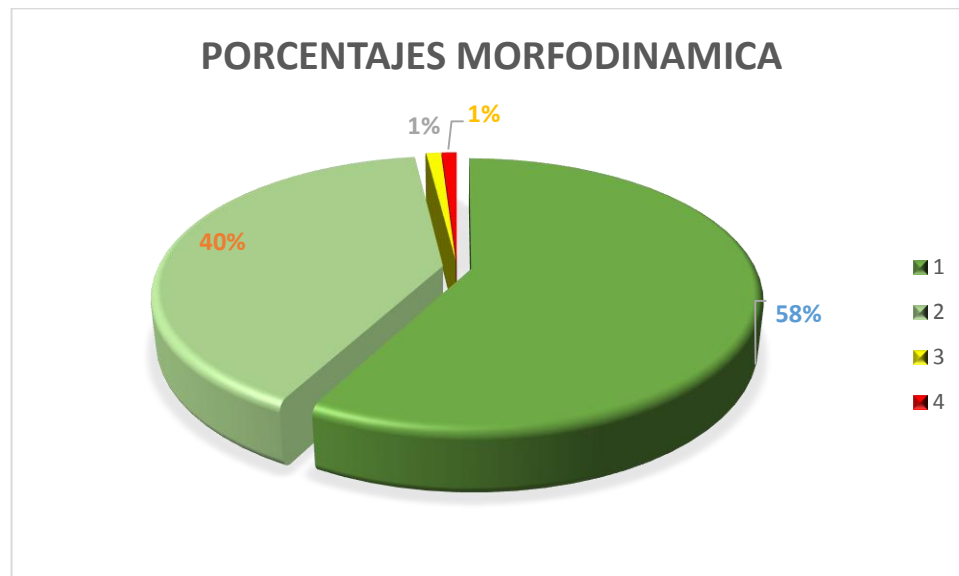


Tabla 16. Calificación de la susceptibilidad morfodinámica

CALIFICACION	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCION
1	Baja	Zonas muy planas localizadas en el valle de Duitama y Paipa donde la probabilidad de que se produzca un movimiento de masa es muy remota a nula.
2	Muy Baja	Zonas de pendiente suavemente inclinada donde la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa es baja.
3	Moderada	Zonas de topografía montañosa, con inclinaciones superiores a los 10 grados, conformada por rocas meteorizadas y algunos depósitos localizados en la parte media y alta del área; no existe completa seguridad de que ocurran fenómenos de remoción en masa.
4	Alta	Zonas que presentan pendientes muy inclinadas, las laderas presentan procesos erosivos acentuados, existe la probabilidad que ocurra fenómenos de remoción en masa a corto plazo.
5	Muy Alta	Zonas que presentan topografía montañosa, sobre laderas cercanas a los cauces, compuestas por algunos depósitos o rocas muy fracturadas y meteorizadas (Zonas de falla).

9 CONCLUSIONES

La cartografía geológica y geomorfológica, producida de las planchas 171-II-C, 171-II-D, 171-IV-A y 171-IV-B, se vuelve un insumo importante para determinar zonas susceptibles a generar movimientos en masa, por agentes detonantes como lo son las lluvias, los sismos y la actividad del hombre.

Los sistemas de información geográfica SIG, constituyen una herramienta importante mediante la cual podemos producir cartografía geomorfológica y geológica, analizando y modelando información existente e información primaria conseguida en visitas a campo.

En la zona estudiada se pudieron identificar los diferentes ambientes morfogenéticos, puesto que el paisaje conserva atributos que permiten hacer esta diferenciación, basándose en las características de cada ambiente geomorfológico.

En este estudio se pudieron identificar diferentes unidades, basados en los conocimientos y en el punto de vista del autor, al interpretar cada geoforma, puesto que aunque hay unidades que son fácilmente reconocibles, existen algunas que se asemejan y para otros autores corresponderían a otra unidad.

La mayoría de movimientos en masa presentes en el área de estudio, son de pequeñas dimensiones, además de ser pocos, puesto que la mayoría de la zona se establece sobre un ambiente estructural y glacial, presentando zonas estables.

Para poder decidir qué zonas son más susceptibles en el desarrollo de movimientos en masa es necesario analizar la geoforma, el tipo de roca o depósito sobre la cual se desarrolla y si existen detonantes como las lluvias intensas o los sismos, que favorezcan el desarrollo de estos fenómenos.

En el área encontramos una calificación de la susceptibilidad por morfodinámica, baja y muy baja, puesto que encontramos zonas de pendiente suavemente inclinada donde la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa es baja, por esto en el área los movimientos en masa de grandes magnitudes son escasos.

El corregimiento de Palermo, es el área urbana más lejana de Paipa, y también es uno de los lugares donde más se presentan movimientos en masa, aunque no son de grandes proporciones para llegar a ser cartografiados, a veces llegan a afectar viviendas rurales, estos muchas veces son generados por el pastoreo de ganado.



Aunque solo la morfodinámica no puede definir zonas susceptibles a movimientos en masa, esta evaluación del terreno, ayuda a comprender la evolución del paisaje, teniendo en cuenta atributos como la pendiente, el tipo de depósito y los movimientos en masa, que son factores influyentes en los procesos de modelado del paisaje.

El ambiente morfogenético que menos presenta movimientos en masa es el glacial, puesto que se compone de rocas competentes como lo son la formación la Rusia, que son poco susceptibles a estos fenómenos.

Para llegar a hacer una evaluación más detallada del modelado del paisaje, es necesario involucrar más factores, como lo son los meteorológicos y sísmicos.



10 RECOMENDACIONES

Se recomienda, realizar una zonificación de amenazas con la geomorfología de este proyecto, para definir zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa, y así identificar zonas con alto grado, que pudieran afectar a la población.

Hacer una evaluación más detallada de los movimientos que se presentan en la vía que conduce de Duitama a Palermo, antes de llegar a dicho Corregimiento, pues existe un movimiento de grandes magnitudes que podría obstruir la vía y hasta represar el río Palermo.

Se recomienda realizar estudios geomorfológicos, a una escala más detallada, enfocados en los centros urbanos, para encaminarlos a planes de ordenamiento territorial y así tener un apoyo para los municipios.

Se recomienda involucrar en la metodología para la generación del mapa morfodinámico zonas que presentan alta erosión, puesto que estas contribuyen en la generación de movimientos en masa.



11 BIBLIOGRAFIA

BARRERA L. A. Estándares de cartografía geomorfológica aplicada a movimientos en masa para planchas a escala 1:100.000 versión 1, SGC, 50 p, Bogotá.

CARVAJAL, J. H. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia, 2012. Servicio Geológico Colombiano. Colección Guías y Manuales. 83pp. Bogotá.

CARVAJAL, J. H. Características geomorfológicas del departamento del Quindío. Proyecto compilación y levantamiento de información geomecánica. Volumen I. 2005. INGEOMINAS. Bogotá.

GOMEZ, J. J., CARVAJAL, J. H., y OTERO, Propuesta de estandarización de los levantamientos geomorfológicos en la zona costera del Caribe colombiano, 2012. Convenio Especial de Cooperación Colciencias – Gobernación del Magdalena – Invemar. Serie de publicaciones Especiales # 54.

HUGGETT, R., J. Fundamentals of Geomorphology. London. Second edition, 2007.

Leyenda Nacional de Coberturas de la tierra. Metodología Corinne Land Cover. Escala 1:100.000, 2010.

PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO - GEOCIENCIAS Para Las COMUNIDADES ANDINAS (PMA-GCA), Movimientos en masa en la región andina, una guía para la evaluación de amenazas, 2007.

SGC, Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, 2012. Bogotá.

SGC, MIN MINAS, Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, 2015. Bogotá.

TARBUCK, E. J. y LUTGENS, F. K. Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física. Ed. Pearson-Prentice Hall, 8ª ed, 2005. Madrid.

VILLOTA, H. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2005. Bogotá.