



INVESTIGACIÓN APLICADA A LA MODELACIÓN DEL TERRITORIO A PARTIR DEL ANÁLISIS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y LA ZONIFICACIÓN POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA LAS PLANCHAS DEL CUADRÁNGULO 210-III C, 210-III D, 229-IA, 229-IB ESCALA 1:25000. DENTRO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 001610 D 2015 UPTC – GOBERNACIÓN DE BOYACA – CAR.

PROYECTO DE GRADO

WILMAR ANDRES MONTAÑA MATAMOROS

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLOGÍA DE COLOMBIA
FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016**

**INVESTIGACIÓN APLICADA A LA MODELACIÓN DEL TERRITORIO A PARTIR
Del ANÁLISIS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y LA ZONIFICACIÓN POR
MOVIMIENTOS EN MASA PARA LAS PLANCHAS DEL CUADRÁNGULO 210-
IIIC, 210-IIID, 229-IA, 229-IB ESCALA 1:25000. DENTRO DEL CONVENIO
INTERADMINISTRATIVO N° 001610 D 2015 UPTC – GOBERNACIÓN DE
BOYACA – CAR.**

WILMAR ANDRES MONTAÑA MATAMOROS

**Trabajo de Grado en la Modalidad de Trabajo de Investigación
Para Optar al Título de Ingeniero Geólogo**

**Director
HÉCTOR ANTONIO FONSECA PERALTA
Msc Ecología Tropical
Especialista en Gestión Ambiental
Ingeniero Geólogo**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLOGÍA DE COLOMBIA
FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016**

Nota de aceptación

Director de escuela de
Ingeniería Geológica.

Director del proyecto.

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Doy gracias a Dios en primera instancia ya que gracias a sus bendiciones y su amor un sueño muy distante que un día nació hoy se hace realidad. A mis padres y hermana motores de mi vida, ya que con sus buenos concejos, deseos y disciplina formaron un hombre de bien. A mi novia ejemplo de lucha y superación con quien he aprendido que no existe obstáculo en la vida que no se pueda superar. A mis amigos que siempre han estado presentes en momentos difíciles de mi vida.

Al director del proyecto el ingeniero Héctor Fonseca quien me brindo la confianza para el desarrollo de este trabajo.

A los ingenieros (as), y compañeros de trabajo quienes con su conocimiento profesional, aportaron cientos de criterios favorables para seguir creciendo a nivel personal y académico.

A los docentes de la escuela de ingeniería geológica quienes con sus conocimientos aportaron a mi desarrollo profesional.

Dedico este logro a mis padres porque gracias a ellos y a su apoyo incondicional el objetivo se ha cumplido y más que un triunfo mío es un triunfo para ellos, pese a tanta adversidad, con ellos he aprendido siempre a mirar hacia adelante y a llegar y buscar ser siempre el mejor siendo un ejemplo para los demás.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIADES	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 METODOLOGÍA	4
Etapas 1: Recopilación de la información bibliográfica existente:	4
Etapas 3: Fase de Campo:	4
Etapas 4: Procesamiento de la Información:	5
Etapas 5: Evaluación de parámetros geológicos:	5
Etapas 6: Evaluación geomorfológica:	5
Etapas 7: Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa.	5
Etapas 8: Elaboración del informe final y entrega de productos.	5
1.5 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	6
1.6 HIDROGRAFÍA	8
1.7 CLIMA	10
1.8 TRABAJO DE CAMPO	12
2. GEOLOGIA	17
2.1 LITOESTRATIGRAFIA.	17
2.1.1 unidades del Paleozoico.	17
2.1.1.1 Grupo Farallones (Dcf), Devónico - Carbonífero.	17
2.1.2 Unidades del Cretacico.	18
2.1.2.1 Formación Bata (K1b) Berriasiano.	19
2.1.2.3 Formación Chivor (K1ch) Berriasiano	21
2.1.2.4 Formación Lutitas de Macanal (K1m) Valanginiano	22
2.1.2.5 Formación las Juntas (K1j) Hauteriviano	23

2.1.2.6 Formación Fόμεque (K1f) Barremiano - Albiano temprano.....	24
2.1.2.6 Formación Une (K1K2U)	24
2.1.3 DEPOSITOS INCONSOLIDADOS DEL CUATERNARIO	25
2.1.3.1 Abanicos Aluviales (Qab)	25
2.1.3.2 Coluviones (Qco).....	26
2.1.3.3 Depositos Aluviales (Qal)	27
2.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	28
2.2.1 FALLAS	28
2.2.1.1 Falla de Tibirita	28
2.2.2 PLIEGUES	28
2.2.2 .1 Sinclinal de Almeida.....	28
2.2.2 .2 Anticlinal de Garagoa.....	28
2.3 EVOLUCION TECTONICA	29
2.3.1 Paleozoico.....	29
2.3.2 Cretáceo inferior.....	29
2.3.3 Cuaternario	30
3. GEOMORFOLOGIA.....	33
2.1 MORFODINAMICA	33
3.1.1 Inclinación de la ladera.....	35
3.1.3 Unidades de Suelo	39
3.2 MORFOMÉTRIA.....	40
3.2.1 Pendientes	40
3.3.2 Rugosidad.....	42
3.3.4 Acuenca	44
3.3 MORFOGENESIS	46
3.3.1 Ambientes morfogenéticos.	47
3.3.2 Metodología.	48
3.3.3 AMBIENTE ANTROPOGÉNICO.....	50
3.3.1.1 Embalses (Aemb)	51
3.3.2 AMBIENTE DENUDACIONAL	52
3.3.2 .1 Cima (Dc).....	54
3.3.2 .2 Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)	54
3.3.2 .3 Escarpe de Erosión Mayor (Deem)	55

3.3.2 .4	Escarpe de Erosión Menor (Deeme)	56
3.3.2 .5	Escarpe Faceteado (Def)	56
3.3.2 .6	Cono o Lóbulo de Flujo Indiferenciado (Dft)	57
3.3.2 .7	Glacis de Acumulación (Dga)	58
3.3.2 .8	Loma Denudada (Dld)	58
3.3.2 .9	Lomo Denudado Alto de Longitud larga (Dldeal)	59
3.3.2 .10	Lomo Denudado Bajo de Longitud Corta (Dldebc)	60
3.3.2 .11	Lomo Denudado Bajo de Longitud Larga (Dldebl)	60
3.3.2 .12	Lomo Denudado bajo de longitud media (Dldebm)	61
3.3.2 .13	Ladera erosiva (Del)	62
3.3.2 .14	Ladera Ondulada (Dlo)	62
3.3.2 .15	Loma Residual (Dlor)	63
3.3.2 .16	Lomo Residual (Dlres)	63
3.3.2 .17	Monticulo y Ondulaciones Denudacionales (Dmo)	64
3.3	AMBIENTE FLUVIAL Y LAGUNAR	65
3.3.3.1.	Cauce aluvial (Fca)	67
3.3.3.1	Terraza de Erosión (Fte)	67
3.3.3.3	Escarpe de Terraza de Erosión (Ftee)	68
3.3.4.	AMBIENTE ESTRUCTURAL	69
3.3.4.1	Espolón alto de longitud corta (Sesac)	71
3.3.4.2.	Espolon alto de longitud media (Sesam)	71
3.3.4.3.	Espolón moderado de longitud corta (Sesmc)	72
3.3.4.4.	Faceta triangular (Sft)	73
3.3.4.5.	Ladera Contrapendiente (Slcp)	73
3.3.4.6.	Ladera Estructural (sle)	74
3.3.4.7.	Ladera de Contrapendiente de Sierra Anticlinal (Ssalc)	75
3.3.4.8	Ladera Estructural de Sierra Anticlinal (Ssale)	75
3.3.4.9	Sierra Anticlinal (Ssan)	76
3.3.4.10	Ladera de Contrapendiente de Sierra homoclinal (Sshlc)	77
3.3.4.11	Ladera Estructural de Sierra homoclinal (Sshle)	77
3.3.4.12	Sierra y lomo de Presión (Sslp)	78
3.3.4.13	Sierra sinclinal (Sss)	79
3.3.4.14	Ladera de contrapendiente de Sierra Sinclinal (Ssslc)	79

3.3.4.15 Ladera Estructural de Sierra Sinclinal (Sssle)	80
4. INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA	81
4.1 FORMULARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA.....	82
5. CALIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD.....	88
5.1 SUCEPTIBILIDAD GEOLÓGICA.....	88
5.1.1 Densidad de Fracturamiento	89
5.1.2 Fabrica/ Estructura	90
5.1.3 resistencia.....	92
5.2 SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLÓGICA	94
5.2.1. MORFODINÁMICA.	96
5.2.1.1. Relación inclinación Relieve (RelaIncli)	96
5.2.1.2 Susceptibilidad de unidades de suelos	97
5.3.1 MORFOGENESIS	100
5.4.1.1 PENDIENTE	103
5.4.1.2 ACUENCA.....	104
5.4.1.3 RUGOSIDAD.....	105
5.5 SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLÓGICA TOTAL	107
5.6 SUSCEPTIBILIDAD TOTAL	109
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES.....	114
BIBLIOGRAFÍA	1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema Metodológico de Trabajo.....	6
Figura 2. Localización del Área de Estudio	7
Figura 3. Vías de Acceso al área de estudio.....	8
Figura 4. Hidrografía Zona de Estudio	9
Figura 5. Mapa de Clima de la zona de Estudio.....	11
Figura 6. Porcentajes de Clima en el área de Estudio.	12
Figura 7. Cartera de campo convenio interadministrativo N° 001610 D 2015 UPTC GOBERNACIÓN DE BOYACA – CAR.....	13
Figura 8. Mapa Puntos de Control, Geológico, Geomorfológico y Movimientos en Masa.....	14
Figura 9. Abanicos Aluviales, Rio Garagoa.....	26
Figura 10. Coluviones	27
Figura 11. Mapa Geológico preliminar.	31
Figura 12. Porcentaje de las Formaciones.....	32
Figura 13. Esquema del Atributo Morfodinámico.	34
Figura 14. Clasificación de Inclinación de Ladera en ArcGis.	36
Figura 15. Mapa de Inclinación de Ladera.....	36
Figura 16. Clasificación de rangos del Relieve relativo	38
Figura 17. Mapa de Índice de relieve relativo.	38
Figura 18. Mapa de unidades de suelo.	40
Figura 19. Clasificación de Pendientes en Arcgis	41
Figura 20. Mapa de Pendientes	42
Figura 21. Valores iniciales del mapa de Rugosidad	43
Figura 22. Mapa de Rugosidad.....	43
Figura 23. Generación del Mapa de Acuenca.....	44
Figura 24. Clasificación del Mapa de Acuenca	45
Figura 25. Mapa de Acuenca	46
Figura 26. Insumos para la realización del mapa Geomorfológico.....	48
Figura 27. Esquema de Jerarquización geomorfológica	49
Figura 28. Porcentaje de Geoformas Antropogenicas	50
Figura 29. Localización de Geoformas Antropogenicas en el área de estudio.	51
Figura 30. Porcentaje de Geoformas Denudacionales.....	53
Figura 31. Localización de Geoformas Denudacionales en el área de estudio.....	53
Figura 32. Escarpe de Erosión Menor.....	56
Figura 33. Escarpe Faceteado.....	57
Figura 34. Glacis de Acumulación.....	58
Figura 35. Lomo Denudado Alto de Longitud larga.....	59
Figura 36. Lomo Denudado Bajo de Longitud Corta	60
Figura 37. Lomo Denudado bajo de longitud media.....	61
Figura 38. Loma Residual	63

Figura 39. Lomo Residual	64
Figura 40. Monticulo y Ondulaciones Denudacionales	64
Figura 41. Porcentaje de Geoformas de Ambiente Fluvial y Lagunar.	66
Figura 42. Localización de Geoformas Ambiente Fluvial y Lagunar en el área de estudio.	66
Figura 43. Terraza de Erosión.....	68
Figura 44. Escarpe de Terraza de Erosión	68
Figura 45. Porcentaje de Ambiente Estructural.....	70
Figura 46. Localización de Geoformas ambiente Estructural en el área de estudio.	70
Figura 47. Espolon alto de longitud media	72
Figura 48. Espolón moderado de longitud corta.....	72
Figura 49. Faceta triangular	73
Figura 50. Ladera Estructural.....	74
Figura 51. Ladera de Contrapendiente de Sierra Anticlinal.....	75
Figura 52. Ladera Estructural de Sierra Anticlinal.	76
Figura 53. Sierra y lomo de Presión.....	78
Figura 54. Ladera de contrapendiente de Sierra Sinclinal.	80
Figura 55. Ladera Estructural de Sierra Sinclinal.....	80
Figura 56. Formato PMA-GCA para movimientos en masa punto 104	83
Figura 57. Formato PMA-GCA para movimientos en masa punto 55	84
Figura 58. Formato PMA-GCA para movimientos en masa punto 55	85
Figura 59. Localización de los movimientos en masa	87
Figura 60. Diagrama de variables de la unidad temática geología, y sus porcentajes.	89
Figura 61. Mapa de Susceptibilidad de Densidad de Fracturamiento.	89
Figura 62. Mapa de susceptibilidad por Fábrica y Estructura.	91
Figura 63. Mapa de Susceptibilidad de Resistencia.....	93
Figura 64. Mapa de susceptibilidad Geológico.....	94
Figura 65. Diagrama de atributos dentro de la variable geomorfología y porcentajes.	95
Figura 66. Mapa de susceptibilidad temático relación inclinación (RELALNCLI). .	97
Figura 67. Mapa de susceptibilidad de unidades de suelo.....	98
Figura 68. Mapa de susceptibilidad del inventario de movimientos cartografiados.	99
Figura 69. Mapa de susceptibilidad del componente morfodinamica.....	99
Figura 70. Mapa de susceptibilidad por morfogénesis.	101
Figura 71. Atributos variable morfometria y porcentajes.	102
Figura 72. Mapa de susceptibilidad por pendiente.....	103
Figura 73. Mapa de susceptibilidad por acuenca.	104
Figura 74. Mapa de susceptibilidad por rugosidad.....	105
Figura 75. Susceptibilidad final por el componente de morfometría.....	106
Figura 76. Diagrama de porcentaje del grado de Susceptibilidad	107
Figura 77. Susceptibilidad geomorfológica total.....	108
Figura 78. Diagrama de porcentaje del grado de Susceptibilidad	109

Figura 79. Mapa de susceptibilidad final. 110

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del área de Estudio.	7
Tabla 2. Clasificación Climática.	10
Tabla 3. Distribución de clima en el área de estudio.	11
Tabla 4. Estaciones de control geomorfológico.	15
Tabla 5. Porcentaje de las Formaciones	32
Tabla 6. Inclinación de Ladera.	35
Tabla 7. Calificación del Relieve Relativo (RR)	37
Tabla 8. Ambientes Morfogenéticos.	39
Tabla 9. Rangos de Pendiente	41
Tabla 10. Clasificación Acuenca.	45
Tabla 11. Unidades Antropogenicas en el área de estudio.	50
Tabla 12. Geogormas Denudacionales.	52
Tabla 13. Geoformas de Ambiente Fluvial y Lagunar.	65
Tabla 14. Geoformas Ambiente Estructural.	69
Tabla 15. Coordenadas de movimientos en masa	86
Tabla 16. Textura/fabrica de las rocas (Tomado INGEOMINAS (2004)	90
Tabla 17. Calificación propuesta tipo de fabrica. Tomado INGEOMINAS ()2009..	91
Tabla 18. Propuesta de calificación de las rocas.	92
Tabla 19. Calificación de la susceptibilidad a unidades de suelo.	97
Tabla 20. Calificación de la susceptibilidad por morfogénesis.	100
Tabla 21. Área correspondiente al grado de Susceptibilidad	107
Tabla 22. Área Correspondiente al grado de Susceptibilidad.	109

TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Estratos de arenisca cuarzosa del Grupo Farallones. Tamaño de grano de fina a media presenta laminación paralela, bien seleccionada con una tonalidad gris-verdosa.....	18
Fotografía 2. Arenisca de grano fino a medio de la formación Bata, Se muestra un color amarillento a grisáceo y verde oliva, se evidencian también pequeñas intercalaciones de láminas de arcillolitas.	19
Fotografía 3. Rocas de la Formación Santa Rosa	20
Fotografía 4. Rocas Calcáreas de la Formación Chivor.	21
Fotografía 5. Formación Lutitas de Macanal.....	22
Fotografía 6. Afloramiento Formación Las Juntas	23
Fotografía 7. Formación Fómeque	24
Fotografía 8. Formación Une	25
Fotografía 9. Deposito Aluvial.....	27
Fotografía 10. Embalses.....	51
Fotografía 11. Cima	54
Fotografía 12. Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión.	55
Fotografía 13. Escarpe de Erosión Mayor.	55
Fotografía 14. Cono o Lóbulo de Flujo Indiferenciado	57
Fotografía 15. Loma Denudada	59
Fotografía 16. Lomo Denudado Bajo de Longitud Larga	61
Fotografía 17. Ladera erosiva.....	62
Fotografía 18. Ladera Ondulada.....	62
Fotografía 19. Cauce aluvial	67
Fotografía 20. Espolón alto de longitud corta.	71
Fotografía 21. Ladera Contrapendiente.	74
Fotografía 22. Sierra Anticlinal.....	76
Fotografía 23. Ladera de Contrapendiente de Sierra homoclinal.	77
Fotografía 24. Ladera Estructural de Sierra homoclinal.....	78
Fotografía 25. Sierra sinclinal.	79
Fotografías 26. Registro Fotográfico de movimiento en masa	84
Fotografía 27. Registro Fotográfico de movimiento en masa	85

INTRODUCCIÓN

Los sucesos geológicos ocurridos a lo largo de la historia dan a conocer gran variedad de eventos naturales, los cuales transforman la geometría y la disposición de las formas terrestres presentes en la corteza, es por ello que representan una fuente de información muy importante tanto en la evaluación de amenazas naturales, como en la planificación y ejecución desarrolladas por parte de las entidades departamentales para la mitigación de estos eventos naturales.

A lo largo del territorio nacional y específicamente en determinadas zonas del Departamento de Boyacá, las condiciones geológicas, hidrológicas y geomorfológicas favorecen la presencia de movimientos en masa, que a su vez presentan un desarrollo progresivo causado por la intervención antrópica. Desde este punto de vista la evaluación del riesgo es necesaria, así como la caracterización de dichos eventos los cuales permiten identificar su magnitud y posibles formas de prevenir a futuro desastres inminentes.

El gobierno Colombiano se ha propuesto regular el uso del suelo en los campos de acción urbano y rural, a partir normas específicas plasmadas en los Planes de Ordenamiento Territoriales, las cuales se han fortalecido con nuevas leyes adicionales, estos incluyen la Gestión del riesgo y desastres como componente principal, y su evaluación se realiza a partir de códigos establecidos por el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo y desastres. De esta manera las entidades públicas, privadas y comunitarias hacen énfasis sobre este tema, con el propósito explícito de contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible, a través del “conocimiento del riesgo, su reducción y el manejo de los desastres asociados con fenómenos de origen natural”, Cabe resaltar que una de las principales preocupaciones dentro del departamento de Boyacá es el manejo y control de áreas inestables vinculadas a movimientos en masa, por ello la secretaria de Infraestructura pública del departamento de Boyacá, implementa diversas herramientas para la solución y mantenimiento de dichas zonas.

Debido a que estos eventos anómalos requieren especial atención, para el presente estudio se tomaran zonas importantes hacia la parte sur del departamento de Boyacá específicamente en el área que abarca las planchas 210 Guateque y 229 Gachalá y sus respectivos cuadrángulos 210-IIIC, 210-IIID, 229-IA, 229-IB a escala 1: 25.000, se hace necesario aplicar una metodología de zonificación en la cual se involucren los componentes como inventario de zonas inestables, corroboración geológica y descripción de unidades geomorfológicas para posteriormente plasmar la zonificación por movimientos en masa.

1. GENERALIADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la recurrencia de movimientos en masa que se han venido presentando en el Departamento de Boyacá, para este caso hacia la parte sur, los cuales han tenido incidencia generando pérdidas tanto de vidas humanas, como de infraestructura, fauna, flora y recursos hídricos; se hace necesario delimitar las zonas inestables que son altamente afectadas por las condiciones geológicas y geomorfológicas que al combinarse con otros factores como el uso y la cobertura masa; así mismo identificar las zonas que se encuentran más susceptibles. Entidades como el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), entre otros, han producido una serie Metodologías a fin de identificar zonas de mayor amenaza para de esta manera prevenir en alguna medida la intensidad de los daños causados por este fenómeno natural.

Para la realización de este trabajo se adopta la metodología del “Servicio Geológico Colombiano para zonificación por fenómenos de remoción en masa escala 1:100.000” (SGC 2013), la cual tiene en cuenta la evaluación geológica, geomorfológica, uso y cobertura del suelo y factores hidrológicos. En este estudio se dará mayor relevancia a la geomorfología convirtiéndose este tema en un objeto de estudio prioritario con el fin de aportar elementos de juicio validos científicamente, para que de esta forma los organismos encargados de la planificación territorial puedan tomar las medidas más adecuadas para prevenir daños y gestionar de manera oportuna y eficiente el riesgo en sus localidades.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El estudio a realizar surge por la necesidad de delimitar las zonas inestables que son altamente afectadas por las condiciones geológicas, geomorfológicas esta última incluye tres variables principales: morfometría, morfogénesis y morfodinámica, que al combinarse con otros factores como el uso y cobertura del suelo y detonantes como lluvias y sismo, generan movimientos en masa que pueden causar numerosos daños tales como de infraestructura (taponamiento de vías, perdida de bancadas, desestabilización de puentes), económicos (perdida de cultivos, semovientes), ambientales (bosques y zonas de pastoreo) y en casos extremos pérdidas de vidas humanas.

En el año 2014 surge el decreto 1807 (NESTOR HUMBERTO MARTINEZ NEIRA director del departamento administrativo de la presidencia de la república) el cual reglamenta en Colombia las condiciones y escalas de detalle para la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y de las áreas con condiciones de riesgo, además de la determinación de las medidas específicas para su mitigación teniendo en cuenta la estructura de los planes de ordenamiento territorial, prevista en el artículo 9 de la Ley 388 de 1997.

Es así como en el artículo 3 de este decreto se especifica que “se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, que contienen:

- a). La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza .
- b).La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados.
- c).La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados.

La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.”

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar la evaluación geológica y geomorfológica para la zonificación de movimientos en masa de las planchas a escala 1:100.000 210 Guateque y 229 Gachalá para los cuadrantes a escala 1:25000: 210-IIIC, 210-IIID, 229-IA, 229-IB, las cuales comprenden los municipios de Guayatá, Guateque, Somondoco, Sutatenza, Macanal, Garagoa, Chivor, Tenza, Santa María y Almeida en el Departamento de Boyacá.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Recopilar la información topográfica, geológica, geomorfológica, existente en la zona de estudio y a partir de imágenes satelitales realizar la delimitación de áreas afectadas por movimientos en masa.
- ✓ Realizar la etapa de campo que incluye: corroboración de unidades geológicas, descripción de litología, toma de datos estructurales, identificación de ambientes y unidades geomorfológicas, verificación y construcción del inventario de movimientos en masa.
- ✓ Procesar la información adquirida en la fase de campo a fin de actualizar la cartografía geológica y geomorfológica a escala 1:25000.

- ✓ Elaborar la evaluación y calificación de unidades litológicas del componente por geología presente en la zona de estudio a fin de obtener el mapa de susceptibilidad geológica.
- ✓ Elaborar el modelo de elevación digital del terreno DEM hallar variables como pendientes, rugosidad y acuenca a fin de evaluar los parámetros morfométricos para la obtención del mapa de susceptibilidad escala 1:25.000
- ✓ Realizar el análisis de mapas de relieve relativo, unidades de suelo y mapa de inventario de movimientos en masa elaborar el mapa de susceptibilidad morfodinámica escala 1:25000
- ✓ Evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa con base en la metodología establecida por el Servicio Geológico Colombiano.
- ✓ Realizar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa para el área de interés.

1.4 METODOLOGÍA

Etapas 1: Recopilación de la información bibliográfica existente:

Bases topográficas existentes a escala 1:25000 y 1:100.000, Plancha geológica 210 y 229 escala 1:100.000 y el informe técnico del servicio geológico Colombiano SGC, Imágenes Satelitales, Proyectos de grado relacionados al Convenio UPTC-Gobernación de Boyacá-CAR “Investigación aplicada a la modelación del territorio a partir del análisis del territorio del departamento de Boyacá”.

Etapas 2: Análisis e Interpretación de las zonas inestables por medio del uso de las herramientas de SIG

Delimitación de polígonos de movimientos en masa, trazar rutas de acceso, identificar zonas de canteras, escarpes de erosión, cuerpos de agua, zonas urbanas, inspecciones y caseríos.

Etapas 3: Fase de Campo:

Reconocimiento y caracterización en campo de los movimientos en masa, formaciones geológicas, elementos estructurales y unidades geomorfológicas, en donde se adquieren la coordenadas del respectivo punto de control (bien ilustrados y descritos en la cartera de campo) y se produce por inspección visual la clasificación del movimiento, el dimensionamiento y la apreciación del riesgo seguido del registro fotográfico, diligenciados en el respectivo Formato Modificado para inventario de Movimientos en Masa (Proyecto Nacional Andino: Geociencias

para las comunidades Andinas), levantamiento geológico, geomorfológico y zonas estratégicas.

Etapa 4: Procesamiento de la Información:

Cargar la información de posicionamiento satelital (tracks o recorridos guardados por el GPS), generación de vectores (shapes) de puntos de control geomorfológico, geológicos y de movimientos en masa; creación y georeferenciación de los polígonos con base a la información levantada en la fase de campo como la morfometría de los movimientos, los cuales en su tabla de atributos debe contener los siguientes caracteres: Código de campo de la estación y coordenadas geográficas; teniendo en cuenta la elaboración simultanea de la base de datos de los movimientos en masa en formato digital. Se realiza un Ajuste y validación de la cartografía geológica y geomorfológica a escala 1:25000 usando la información obtenida en la fase de campo como apoyo en la actualización cartográfica

Etapa 5: Evaluación de parámetros geológicos:

Obtención del mapa final de susceptibilidad geológica a escala 1:25.000, donde esta unidad temática presenta tres variables, (densidad de fracturamiento (10%), fabrica/estructura (50%), resistencia (40%), las cuales presentan un grado de importancia dado en (%) y que sumados dan como resultado el porcentaje total de la susceptibilidad geológica.

Etapa 6: Evaluación geomorfológica:

A partir de diferentes variables como Inclinación de ladera, Relieve relativo, área de afectación alrededor de los movimientos en masa, Unidades de suelo, Mapa de inventario de movimientos en masa, se evalúan los parámetros morfogénéticos (30%), morfodinámicos (30%) y morfométricos (40%), que sumados y con su representación porcentual de importancias se obtiene el mapa de susceptibilidad geomorfológica a escala 1:25000.

Etapa 7: Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa.

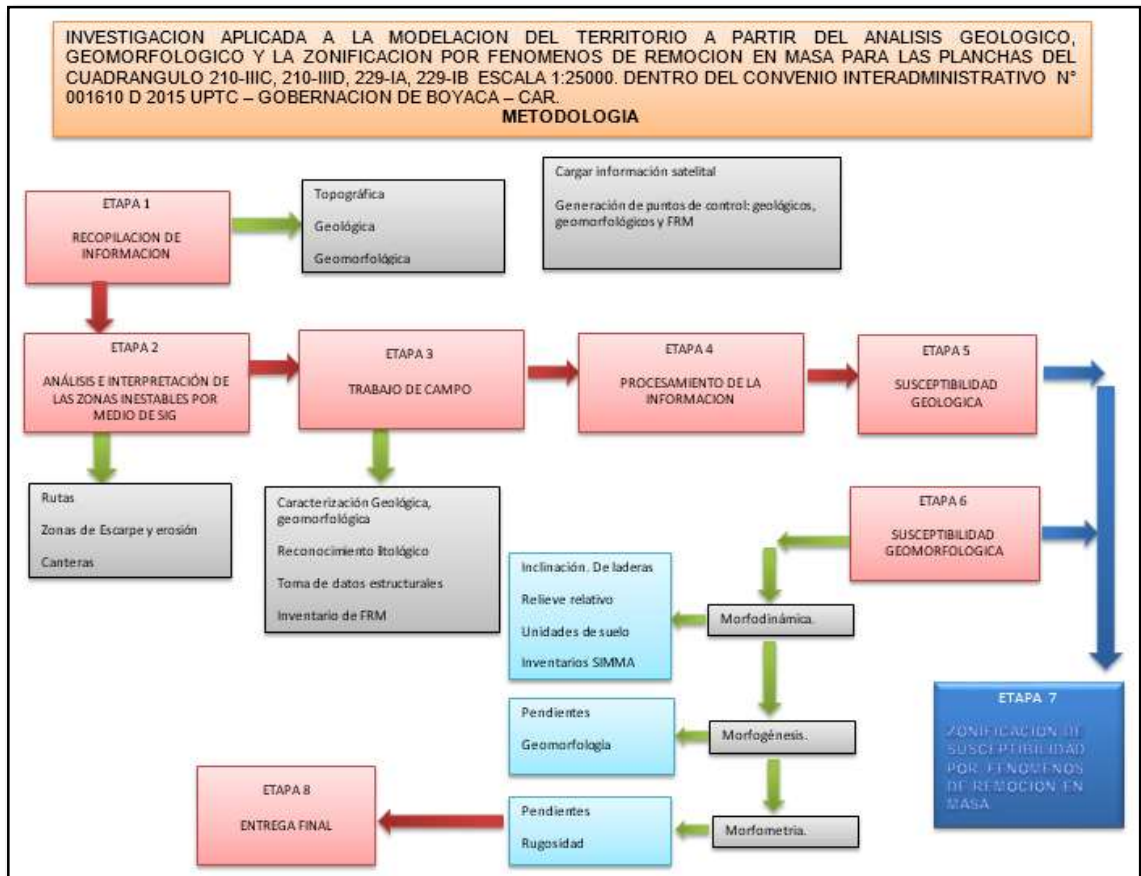
Elaboración de cruces temáticos de mapas de susceptibilidad de los componentes que conforman la zonificación por movimientos en masa.

Etapa 8: Elaboración del informe final y entrega de productos.

Entrega de informe final, mapas geológicos, geomorfológicos y mapa de la zonificación por movimientos en masa.

La figura 1 muestra el esquema a seguir para la metodología de trabajo propuesta en el proyecto:

Figura 1. Esquema Metodológico de Trabajo



Fuente. Autor

1.5 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

En general el área de estudio abarca los cuadrángulos las planchas 210-IIIC, 210-IIID, 229-IA, 229-IB a escala 1:25.000, cubriendo un área total de 2400 Km². Dentro de la zona se localizan los municipios de Guayatá, Guateque, Somondoco, Sutatenza, Macanal, Garagoa, Chivor, el sur de Tenza, Santa María y Almeida en el Departamento de Boyacá.

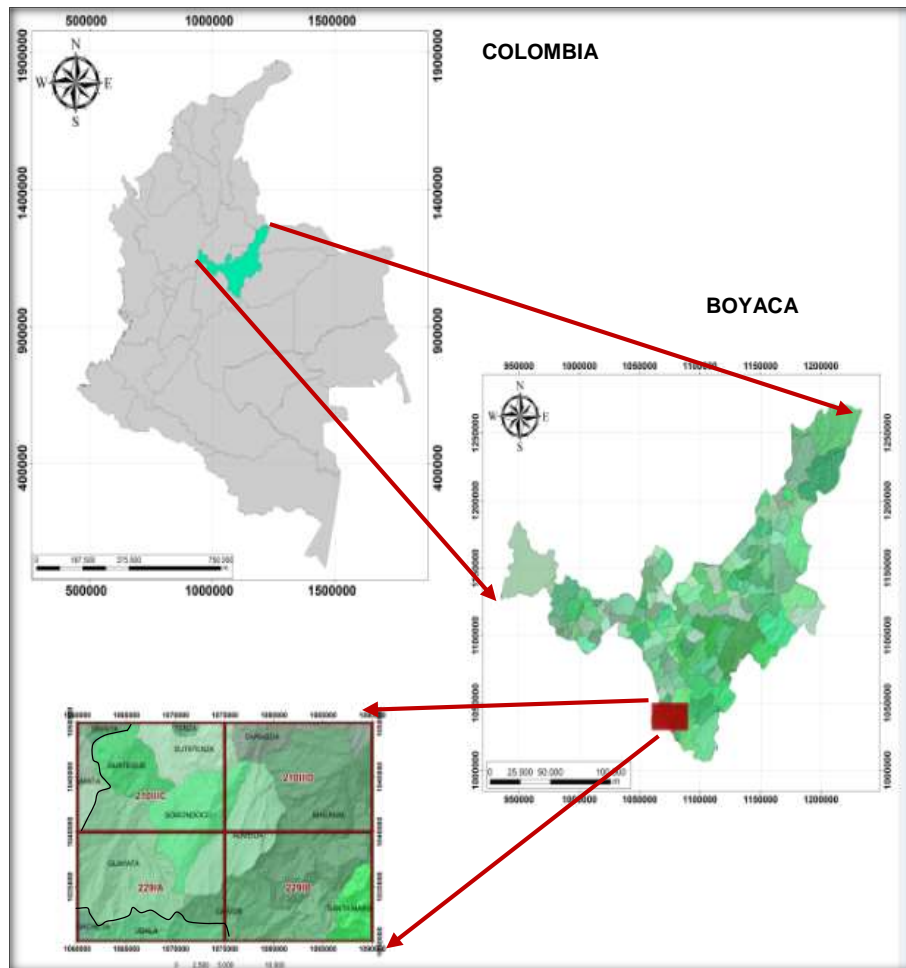
La tabla 1 muestra las coordenadas geográficas del IGAC en sistema de referencia MAGNA COLOMBIA BOGOTÁ Referidas al punto de origen X=1'000.000, Y=1'000.000 de coordenadas geográficas 74°04'39,0285" de longitud Oeste y 4°35'46,3215" de latitud Norte. La localización del área de estudio se observa en la figura 1.

Tabla 1. Coordenadas del área de Estudio.

COORDENADAS		
	NORTE	ESTE
210 III C	1.050.000	1.060.000
	1.040.000	1.075.000
210 III D	1.040.000	1.075.000
	1.050.000	1.090.000
229 IA	1.030.000	1.060.000
	1.040.000	1.075.000
229 IB	1.040.000	1.075.000
	1.030.000	1.090.000

Fuente. Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, Autor

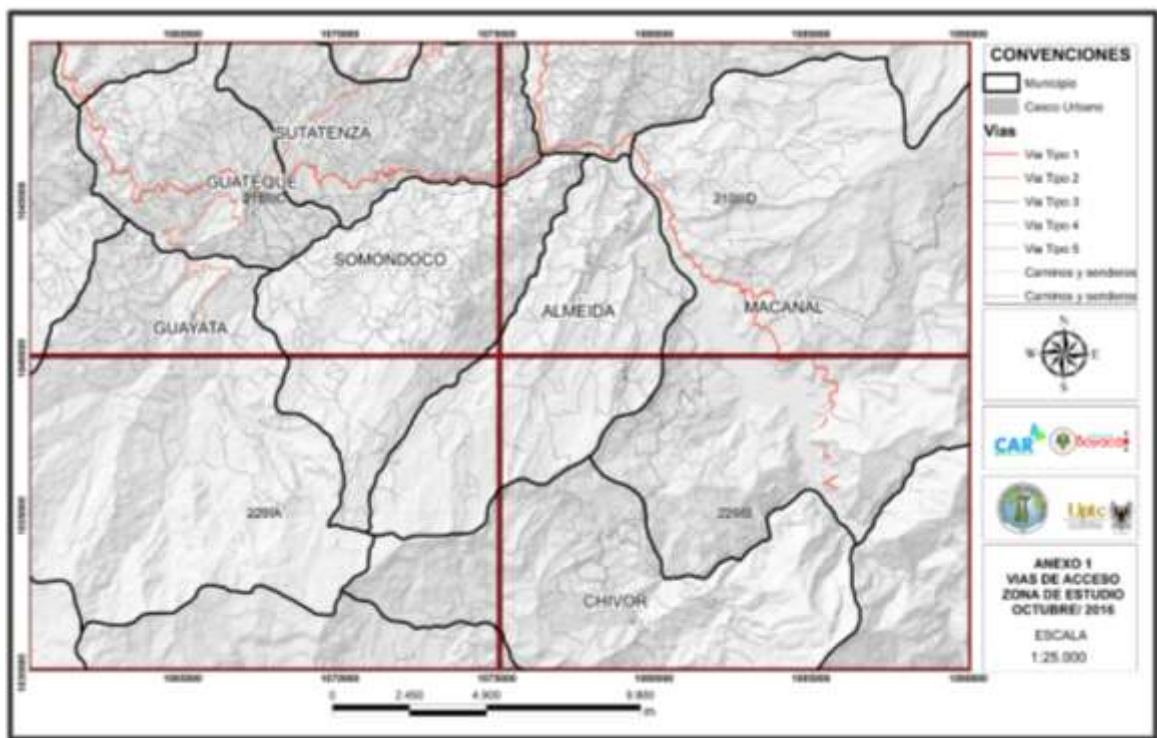
Figura 2. Localización del Área de Estudio



Fuente. Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, Autor

En general la zona cuenta con buena infraestructura vial que facilita la comunicación intermunicipal. Se puede ingresar por la carretera que conecta la ciudad de Bogotá con la Capital del departamento Tunja en el sector del embalse del Sisga y desde allí tomar al oriente para comunicarse con las poblaciones de Guateque, Garagoa, y Macanal, o ir hasta Tierranegra y desviar a Jenesano, y tomar la vía que comunica Tabaná, Chinavita y Garagoa, o desde la vía que comunica a Tunja con Jenesano y tomar la Vía hacia Garagoa (Figura 3). El área se encuentra aproximadamente a 87 Km de la capital del departamento de Boyacá, ingresando por la parte NE en el municipio de Garagoa y a 159 Km de Bogotá, ingresando por la parte sur de la zona, municipio de Chivor.

Figura 3. Vías de Acceso al área de estudio.



Fuente. Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, Autor

1.6 HIDROGRAFÍA

La zona de estudio se localiza fisiográficamente sobre el flanco oriental de la Cordillera Oriental, Morfológicamente el área es una región montañosa y se caracteriza por relieve moderado a fuerte, El drenaje es subparalelo y subdendrítico, de densidad media, con desarrollo de valles juveniles. Los ríos que drenan las áreas cartografiadas pertenecen a la cuenca hidrográfica del río Meta¹

¹ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013.

La zona de estudio posee una gran fuente hídrica (Figura 4) que surte a los diferentes Municipios de la región. Dentro de los sistemas loticos se encuentran Ríos de importantes como Aguacia, río el salitre, Sunuba, Somondoco, Garagoa y quebradas afluentes como la Quebrada Tencua, Quebrada Negra, Quebrada Cuya, Quebrada dátil entre otros, de los cuales se capta agua para acueductos Veredales, Municipales, y fines agrícolas como riego y abrevaderos.

Dentro del área se identifican sistemas lenticos siendo el más importante es la represa de Chivor, que es la actualidad en la tercera Hidroeléctrica más grande del país. El desarrollo hidroeléctrico se fundamenta en el aprovechamiento del caudal del río Batá (conformado por los ríos Garagoa y Somondoco) y de las desviaciones Tunjita, Negro y Rucio. El caudal aportante es regulado en el embalse La Esmeralda, con capacidad para almacenar un volumen total de 569,64 millones de metros cúbicos².

Asi Mismo, los procesos hídricos en el área de estudio favorecen el modelado del relieve debido a la influencia de factores erosivos. En la zona se observan profundas depresiones en forma de “V” además de un relieve ondulado, quebrado y escarpado³.

1.7 CLIMA

El clima en el área de estudio presenta una gran variabilidad típica de la zona ecuatorial, en rangos que van desde clima cálido, seguido de clima templado ,frio y finalmente un clima típico de paramo bajo.

La clasificación climática se realizó a partir de un DEM (modelo digital de elevación) de 12.5m de resolución del satélite ALOS PALSAR de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial, En el software Arcgis 10.2 se realiza una categorización de rangos de alturas según la clasificación del Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM,

Tabla 2. Clasificación Climática.

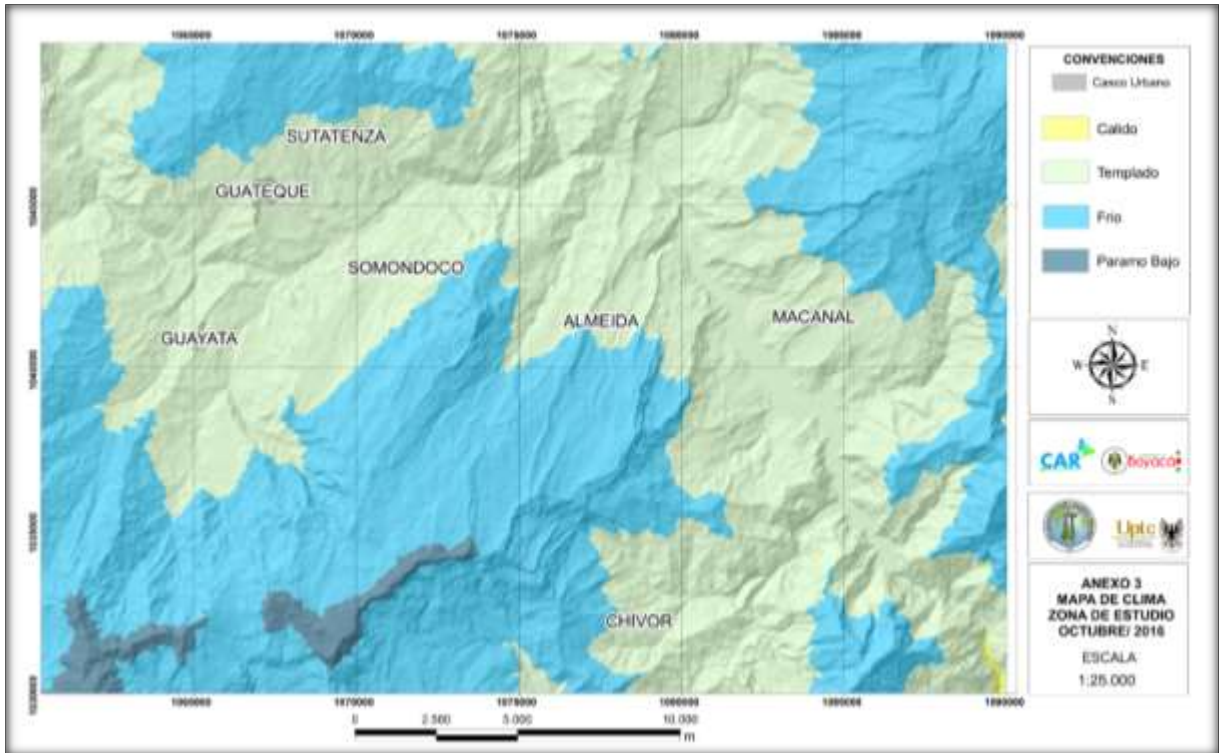
CLIMA	ALTURA (msnm)
Cálido	0-1.000
Templado	1.000-2.000
Frío	2.000-3.000
Páramo Bajo	3.000-3.700

Fuente: IDEAM

²AESCHIVOR, <http://www.chivor.com.co/qui/SitePages/La%20Central%20Hidroel%C3%A9ctrica%20de%20Chivor.aspx>

³ Ibid., P,8.

Figura 5. Mapa de Clima de la zona de Estudio



Fuente: DEM ALOS-PALSAR, UAF, Autor

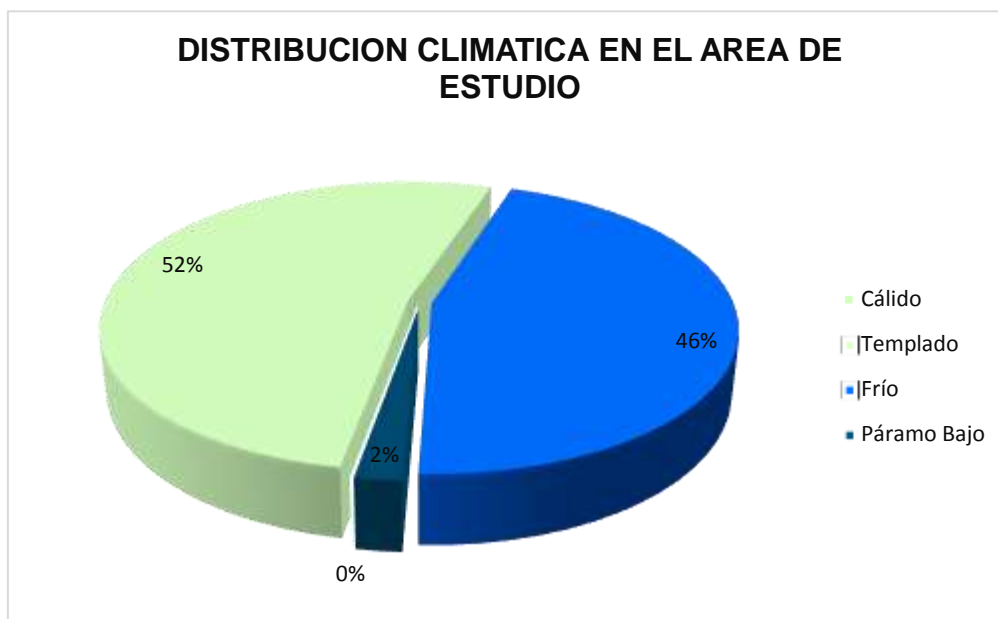
La figura 5 muestra la distribución climática en la zona de estudio. La figura 6 muestra el diagrama de distribución climática en donde se observa que el 52% del área corresponde a clima templado, el 46% pertenece a zonas frías, mientras un 2% se encuentra en áreas de páramo Bajo, hacia la parte sur este de la zona se presenta clima cálido pero este no es representativo debido a que el total de su área no suma el 1%. La tabla 3 muestra el área y el porcentaje con respecto a la clasificación de clima.

Tabla 3. Distribución de clima en el área de estudio.

CLIMA	AREA (Km ²)	%
Cálido	0,40	0,0667
Templado	313,60	52,266
Frío	273,43	45,572
Páramo Bajo	12,57	2,095
TOTAL	600,00	100

Fuente: Autor

Figura 6. Porcentajes de Clima en el área de Estudio.



Fuente: Autor

1.8 TRABAJO DE CAMPO

La etapa de trabajo de campo es una de las fases más importantes para el proyecto de investigación debido a que en este proceso se realiza la verificación de los datos obtenidos en el previo trabajo elaborado en oficina, Para la realización de esta fase se tienen en cuenta tres aspectos principales:

1 Aspecto geológico

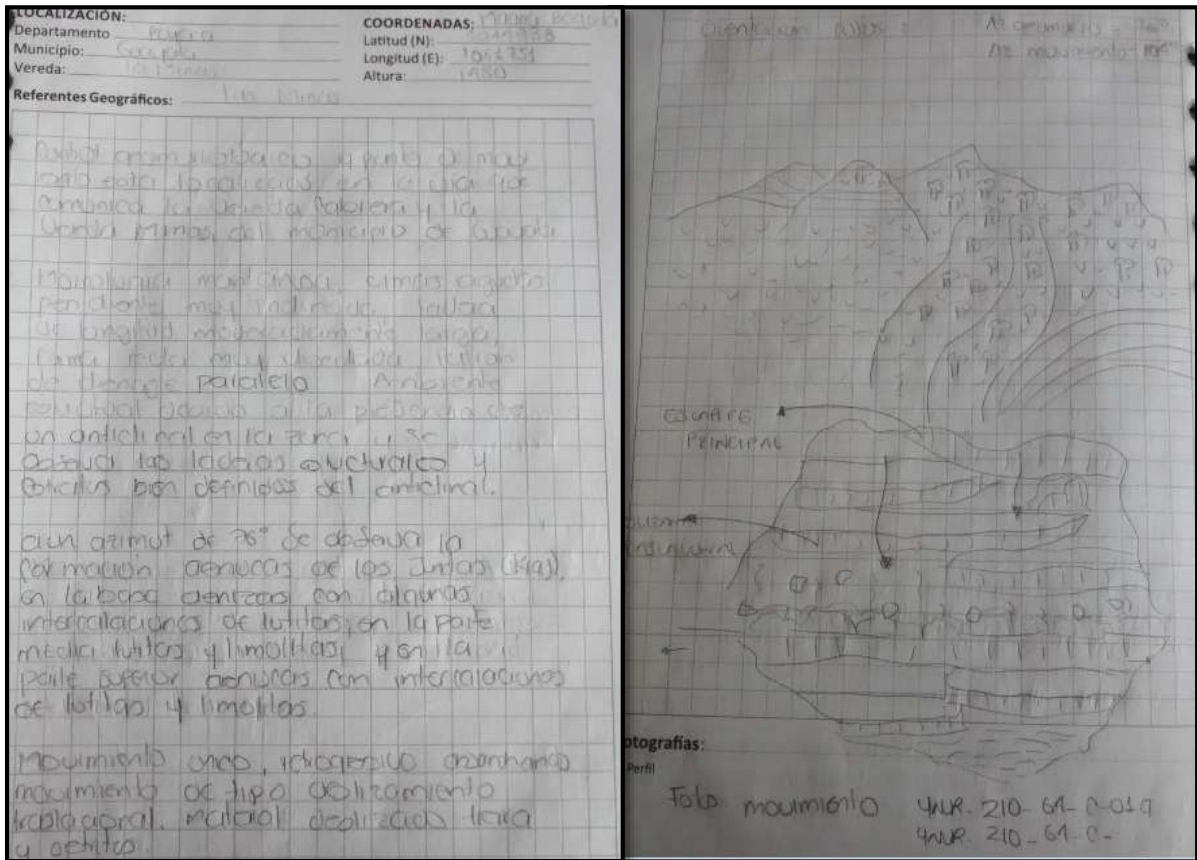
2-Aspecto geomorfológico

3- inventario de Movimientos en masa.

Los datos en campo fueron consignados en carteras de acuerdo al número de estación, coordenadas del sitio, incluyendo municipio, y una descripción detallada del aspecto evaluado (Figura 7). Posteriormente los datos son procesados en tablas de Excel a fin de Generar un mapa final del Recorrido de Campo (Tabla 4).

Los recorridos se realizaron a través de vías principales y teniendo en cuenta un orden jerárquico en cuanto a la magnitud de los movimientos en masa y su cercanía con poblaciones, infraestructura o sectores agrícolas.

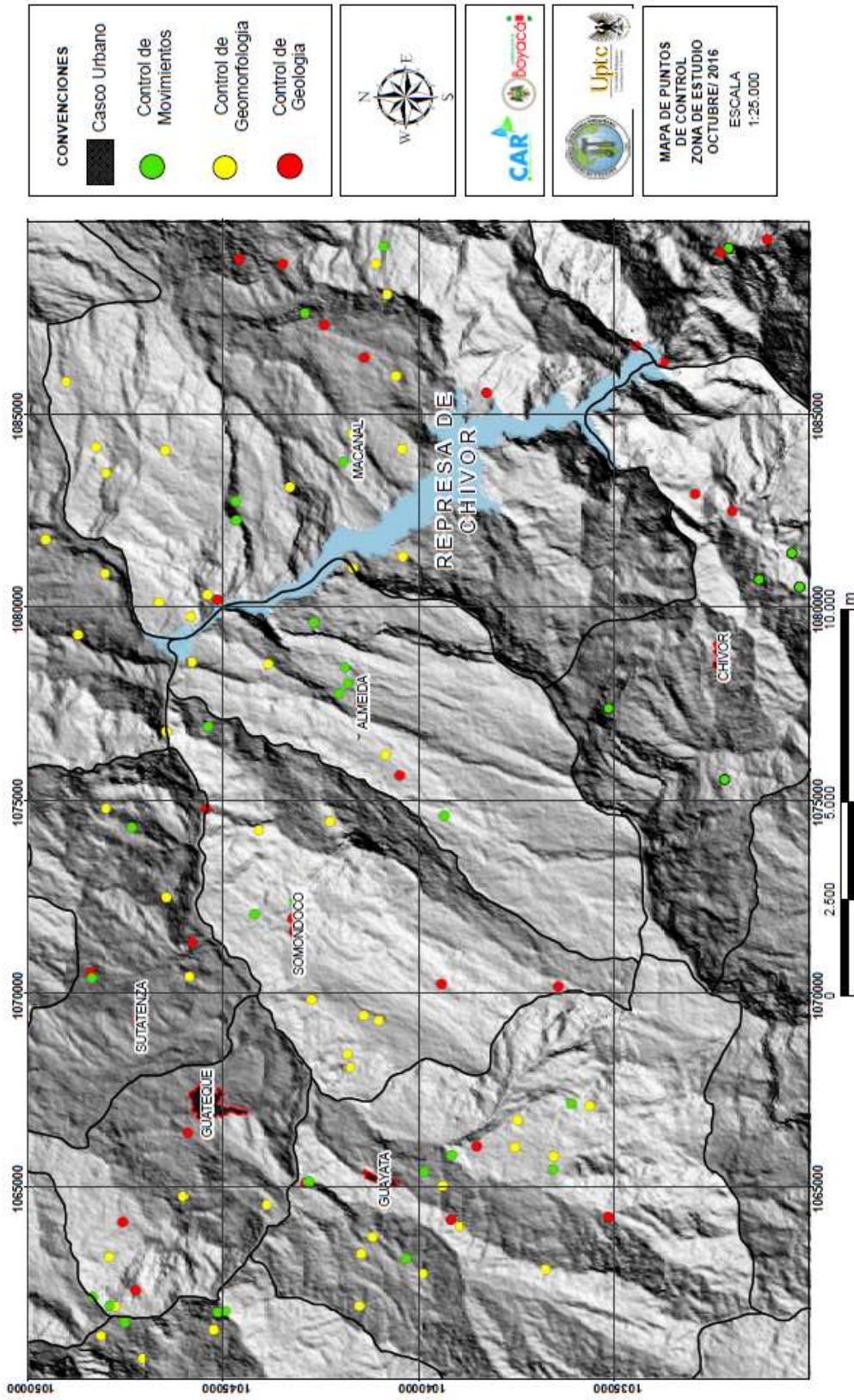
Figura 7. Cartera de campo convenio interadministrativo N° 001610 D 2015 UPTC GOBERNACIÓN DE BOYACA – CAR.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC.

La figura 8 muestra el mapa que contiene las estaciones tomadas en campo, Los puntos amarillos representan los puntos de observación Geomorfológica, Los puntos rojos muestran control Geológico como toma de datos estructurales y descripción litológica, Los puntos en verde representan inventario de movimientos en masa ya sea activos o inactivos.

Figura 8. Mapa Puntos de Control, Geomorfológico y Movimientos en Masa.



Fuente. Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, Autor

Tabla 4. Estaciones de control geomorfológico.

CODIGO	PLANCHA	ESTE	NORTE	ALTURA	AZIMUT
YNVR047B	210IIIC	1064718	1046033	2026	96
YNVR048B	210IIIC	1063150	1047907	2011	320
YNVR051B	210IIIC	1061872	1047760	1546	252
YNVR052B	210IIIC	1061500	1047520	1497	91
YNVR056B	210IIIC	1074765	1047988	1702	86
YNVR058B	210IIIC	1072465	1046442	1744	208
YNVR059B	210IIIC	1070416	1045849	1636	92
YNVR060B	210IIIC	1061111	1048120	1583	152
YNVR061B	210IIIC	1060519	1047061	1803	73
YNVR062B	210IIIC	1061269	1045238	1595	143
YNVR064B	210IIIC	1061751	1044938	1480	76
YNVR066B	210IIIC	1064506	1043880	1467	228
YNVR073B	210IIIC	1069272	1041027	1804	148
YNVR074B	210IIIC	1069407	1041397	1772	340
YNVR075B	210IIIC	1069812	1042732	1643	88
YNVR076B	210IIIC	1068405	1041812	1615	0
YNVR077B	210IIIC	1068062	1041746	1621	280
YNVR083B	210IIIC	1061886	1041504	2080	88
YNVR084B	210IIIC	1063231	1041468	1830	69
YNVR085B	210IIIC	1063671	1041185	1793	88
YNVR089B	210IIIC	1074206	1044098	1948	0
YNVR092B	210IIIC	1074429	1042268	2059	47
YNVR025B	210IIID	1084459	1041677	1743	190
YNVR028B	210IIID	1088884	1041098	1852	339
YNVR029B	210IIID	1088086	1040799	1719	55
YNVR030B	210IIID	1085977	1040569	1756	215
YNVR031B	210IIID	1084087	1040426	1527	240
YNVR033B	210IIID	1083096	1043296	1835	151
YNVR036B	210IIID	1081736	1049527	1818	26
YNVR037B	210IIID	1084131	1048257	2029	50
YNVR038B	210IIID	1085828	1049013	2274	360
YNVR039B	210IIID	1083457	1047990	1974	190
YNVR040B	210IIID	1084045	1046481	2004	88
YNVR041B	210IIID	1080109	1046634	1435	345
YNVR042B	210IIID	1080304	1045400	1466	213
YNVR043B	210IIID	1079745	1045818	1371	280
YNVR044B	210IIID	1079273	1048699	1817	200

YNVR045B	210IID	1080855	1048013	1643	297
YNVR046B	210IID	1076765	1046445	1297	360
YNVR094B	210IID	1076156	1040853	1974	16
YNVR098B	210IID	1081297	1040409	1416	17
YNVR099B	210IID	1081000	1041671	1467	120
YNVR102B	210IID	1078562	1045788	1345	58
YNVR106B	210IID	1078517	1043827	1707	5
YNVR_68B	229IA	1065754	1036546	1873	210
YNVR_70B	229IA	1067068	1035626	2310	183
YMVR_71B	229IA	1066691	1037464	2009	355
YNVR_72B	229IA	1065993	1037532	1881	67
YNVR_79B	229IA	1062832	1036747	2338	52
YNVR_80B	229IA	1063941	1038944	1969	35
YNVR_81B	229IA	1064991	1039388	1760	86
YNVR_82B	229IA	1062726	1039892	2037	40
YNVR_01B	229IB	1084570	1039958	1448	178
YNVR_14B	229IB	1084977	1035514	1324	15
YNVR_17B	229IB	1077680	1030050	2184	240
YNVR_20B	229IB	1078331	1033903	1794	139
YNVR_21B	229IB	1081604	1030334	1815	170
YNVR_95B	229IB	1076288	1037546	2424	200
YNVR_96B	229IB	1077271	1036175	2424	171
YNVR_97B	229IB	1080221	1035944	2042	22

Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Autor

2. GEOLOGIA

Para la elaboración del mapa Geológico de la zona se tomó como referencia las planchas Geológicas 210 Guateque (2010) y 229 Gachalá (2013) a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano. Se realizó una fase inicial de Fotointerpretación, seguida de la corroboración de las diferentes unidades, estructuras y Fallas. Para la descripción litoestratigráfica se utilizó la Metodología de Descripción de Rocas Modificada de R. Compton 1985, en la que se tienen en cuenta parámetros como espesor de la unidad, composición, friabilidad, dureza, fósiles, porosidad, forma de la estratificación y estructuras entre otros.

2.1 LITOSTRATIGRAFIA.

El área de estudio se ubica sobre el flanco oriental de la cordillera oriental, en el cual afloran secuencias de rocas sedimentarias paleozoicas, cretácicas y cenozoicas cubiertas en algunos sectores por depósitos sedimentarios cuaternarios de origen coluvial y aluvial. (ver Figura 9, Anexo 5, Mapa Geológico).

2.1.1 unidades del Paleozoico.

El Grupo Farallones es la unidad litoestratigráfica que representa al Paleozoico en la Plancha 210-Guateque Y 229 Gachalá. Constituye un basamento sedimentario (areno-lodoso) del Paleozoico superior, sobre el cual ocurrieron los primeros avances del mar Cretácico en esta región, razón por la cual se acumularon discordantemente las unidades basales del Cretácico inferior conocido como formaciones Batá o Santa Rosa⁴.

2.1.1.1 Grupo Farallones (Dcf), Devónico - Carbonífero.

La formación Grupo Farallones aflora principalmente en el sur-este de la zona de estudio, hacia el sur del municipio de Macanal en el sector centro. Esta formación está compuesta principalmente por cuarzoarenitas blancas, muy finas, maduras compactas, intercaladas con arenitas lodosas y lodolitas gris oscuros con restos vegetales; a lo largo del Río Chivor se aprecian niveles calcáreos importantes. Este material presenta un alto grado de compactación y dureza por lo cual está siendo utilizado como material de relleno, Morfológicamente presente Relieves escarpados por lo que se reconoce fácilmente.⁵

⁴ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 210, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2010.

⁵ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 210, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2010.

Fotografía 1. Estratos de arenisca cuarzosa del Grupo Farallones. Tamaño de grano de fina a media presenta laminación paralela, bien seleccionada con una tonalidad gris-verdosa.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC

2.1.2 Unidades del Cretácico.

La sedimentación en el periodo Cretácico es producto del ingreso del mar a la región de la Plancha 229-Gachalá durante el Berriasiano. Hubo control tanto por la paleotopografía existente (entrantes y salientes de la línea costera) generada por las rocas del Grupo Farallones, como por paleofallas normales que actuaron concomitantemente con la sedimentación; estos factores determinaron el tipo de material que se depositó, de tal forma que coetáneamente en un sector se depositaban arenitas y/o conglomerados, y en otro lugar rocas de textura fina, tanto siliciclásticas como calcáreas (arcillolitas, lodolitas, limolitas o calizas).⁶

⁶ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013.

2.1.2.1 Formación Bata (K1b) Berriasiano

La formación Bata se encuentra en el área de estudio en el extremo S-E en la vereda Calichana en el municipio de Santa María, esta formación está compuesta por arenisca fina grisácea, intercalada con capas delgadas de arcillolitas.

La Formación Batá fue propuesta por Ulloa & Rodríguez (1979), para designar una secuencia de 1.160 m de espesor que aflora en el cañón del río Batá, por la carretera Guateque-Santa María (229: B6), compuesta por conglomerados, limolitas y arenitas. En la sección tipo Ulloa & Rodríguez (1979), identifican cuatro conjuntos litológicos en la Formación Batá que denominan A, B, C y D. El conjunto A (70 m) está formado por conglomerados con cantos de arcillolita, cuarcita y cuarzo en una matriz limolítica de color verde rojizo; el conjunto B (625 m) de limolitas de cuarzo micáceas, arcillolitas, arenitas de cuarzo de grano fino a medio y conglomerados con cantos subredondeados a redondeados de limolitas de cuarzo y cuarcitas en una matriz de limolita. El conjunto C (265 m) es una alternancia de arenitas de cuarzo de grano fino a medio, conglomerados y lodolitas laminadas grises claras a oscuras con niveles fosilíferos. El conjunto superior D (200 m) son arenitas de cuarzo de color gris oscuro, grano fino a medio, estratificadas en capas medianas con intercalaciones de lodolitas laminadas negras y compactas.⁷

Fotografía 2. Arenisca de grano fino a medio de la formación Bata, Se muestra un color amarillento a grisáceo y verde oliva, se evidencian también pequeñas intercalaciones de láminas de arcillolitas.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC.

⁷ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

2.1.2.2 Formación santa rosa (K1sr) Berriasiano

Esta formación aflora en el área de estudio entre los municipios de Macanal y santa María a lo largo de las veredas el Retiro, Guali, Camoyo y la Vega, presenta una dirección predominante hacia el N-E, la formación se extiende a lo largo del anticlinal de Miralindo.

Litológicamente la formación está constituida por conglomerados intercalados con arenitas muy finas en la base; la parte media y superior con lodolitas negras micáceas alternando con arcillolitas gris oscuro laminadas y limolitas fosilíferas. Terraza *et al.* (2008), proponen esta nueva unidad litoestratigráfica en la región del Cinturón Esmeraldífero Oriental. El nombre proviene de la inspección de policía de Santa Rosa, perteneciente al municipio de Ubalá (plancha 229, departamento de Cundinamarca), en donde la unidad presenta buena exposición. La sección tipo es compuesta y se encuentra sobre el flanco occidental del Anticlinal de Miralindo en tres sitios diferentes: la parte basal en el Alto de Santa Rosa, la parte media en las minas de Buenavista y la parte superior en las minas de Oriente.⁸

Fotografía 3. Rocas de la Formación Santa Rosa



Fuente: Proyecto de investigación UPTC.

⁸ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 210, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2010.

2.1.2.3 Formación Chivor (K1ch) Berriasiano

En la zona de estudio la formación aflora en el municipio de Chivor en las veredas San Francisco, el Pino, Guavio y Guali, las rocas descansan sobre la formación Santa Rosa e infrayacen a la formación Lutitas de Macanal. Como rasgo general se resalta la presencia de rocas con textura evaporítica de ambientes marinos con bajos niveles de energía, Extensionalmente abarca aproximadamente desde el embalse del Guavio hasta el embalse de Chivor del sur a norte respectivamente, los mejores afloramientos se observan en las minas de Oriente, Soescol y la Esmeralda.

En el río Chivor se observan buenos afloramientos y muestra un espesor de por lo menos 160 m en donde afloran dos intervalos, uno inferior mayoritariamente calcáreo (95 m) compuesto por calizas (*wackestone* y *mudstone*–micritas y biomicritas) que se intercalan con arcillolitas calcáreas y no calcáreas, y el intervalo superior (65 m) donde se intercalan capas de *boundstone* con capas de *wackestone*, *mudstone*, rocas evaporíticas nodulares y arcillolitas.⁹

Fotografía 4. Rocas Calcáreas de la Formación Chivor.



Fuente. Memoria de la plancha 229 gachala, 2013.

⁹ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

2.1.2.4 Formación Lutitas de Macanal (K1m) Valanginiano

La formación Lutitas de Macanal aflora en el área de estudio desde el municipio de Chivor pasando por el municipio de Macanal en un direccionamiento de 40° aproximadamente hacia es N-E, es una unidad predominantemente arcillosa con intercalaciones significativas de arenitas y limolitas que aflora entre las formaciones del Cretácico basal (Ubalá, Santa Rosa, Chivor o Bata) y la Formación Las Juntas o Grupo Farallones.¹⁰

En el área de estudio la formación Lutitas de Macanal aflora principalmente hacia el SE entre los municipios de Chivor y Macanal presentando hacia el sector de los Cedros buenos afloramientos donde se observa la sucesión monótona de arcillolitas oscuras laminadas, con intercalaciones de cuarzoarenitas limolitas y lodolitas.

Se puede apreciar capas medianas a gruesas de forma tabular a lenticular, con intercalaciones de arenitas de cuarzo de color gris oscuro de textura fina y lutitas negras, la morfología que se aprecia de esta formación es suave en general, con zonas de escarpes pronunciados.

Fotografía 5. Formación Lutitas de Macanal



Fuente: Proyecto de investigación UPTC

¹⁰ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

2.1.2.5 Formación las Juntas (K1j) Hauteriviano

Ulloa & Rodríguez (1979) llamaron Formación Areniscas de Las Juntas a dos niveles arenosos separados por un nivel lutítico que afloran por la carretera Guateque-Santa María entre las cuchillas El Volador y Peña Volador Chiquito.¹¹

La formación las Juntas en el área de estudio se encuentra en la dirección SW-NE, en el sector conocido como las juntas, Municipio de Macanal. Se presenta afloramientos muy potentes compuestos por arenitas cuarcíticas de grano medio a grueso en bancos de hasta 1m de espesor con intercalaciones de lodolitas oscuras. La formación está separada por tres miembros en el cual el superior conocida también como miembro el Volador presenta bancos muy gruesos de areniscas que van de unos pocos metros hasta unos 25 m aproximadamente, el miembro intermedio conocido como Lutitas intermedias está constituido por arcillas oscuras con algunas intercalaciones de limonitas y el miembro inferior conocido como Almeida presenta capas muy gruesas de arenitas. La formación presenta una morfología suave y fuertes escarpes en los miembros arenosos.

Fotografía 6. Afloramiento Formación Las Juntas



Fuente: Proyecto de investigación UPTC

¹¹ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

2.1.2.6 Formación Fόμεque (K1f) Barremiano - Albiano temprano

La formación Fόμεque se encuentra en gran parte del área de estudio con dirección predominante al NW en los municipios de Macanal, Somondoco, Guayata, Guateque y Sutatenza, Su morfología en general es suave que contrasta con la morfología escarpada de la Formación Las Juntas.

Está constituida por arcillolitas grisáceas con intercalaciones frecuentes de biomicritas y algunas arenitas las cuales se distinguen en el trayecto debido a su resistencia a la erosión. Estas areniscas se utilizan local mente como recebo y material de construcción.

Fotografía 7. Formación Fόμεque



Fuente: Proyecto de investigación UPTC.

2.1.2.6 Formación Une (K1K2U)

La formación une aflora en el extremo NW del área de estudio en el sector santa Helenita del municipio de Guateque colindando con el municipio de Tibirita de Cundinamarca. Debido a su composición litológica que es principalmente areniscas se puede apreciar una morfología escarpada. La formación está compuesta por cuarzoarenitas grises y amarillas de textura fina llegando hasta gruesa, presenta intercalaciones de arcillolitas laminadas grises.

En la franja localizada desde Tibirita hasta el municipio de Zetaquirá que incluye se cartografiaron dos conjuntos litológicos en la Formación Une denominados informalmente como K1K2u1 (Une inferior) y K1K2u2 (Une superior). Estos

conjuntos presentan niveles de 50 a 60 m de arenitas en la base o en el techo, lo que permitió su diferenciación morfológica tanto de la infrayacente Formación Fómeque como de la suprayacente Formación Chipaque¹²

Fotografía 8. Formación Une



Fuente: Memoria de la plancha 229 gachalá, 2013.

2.1.3 DEPOSITOS INCONSOLIDADOS DEL CUATERNARIO

Estas unidades corresponden a depósitos sedimentarios recientes, acumulados posiblemente en el Holoceno y que se encuentran cubriendo discordantemente a las rocas preexistentes. En este capítulo se presentan las características de la superficie de la región, de tal forma que se introducen los rasgos superficiales generales del área y sus procesos de formación sin divorciarlos de los productos resultantes de su actividad.¹³

2.1.3.1 Abanicos Aluviales (Qab)

Abanicos aluviales que se encuentran en las márgenes de los Ríos que se formaron por acumulaciones sucesivas de avalanchas fluvio-torrenciales deslizamientos o avalanchas sobre los valles fluviales, En general presentan presentando una

¹² Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

¹³ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

morfología plana. En el área se observan principalmente en los márgenes del Rio Garagoa.

Figura 9. Abanicos Aluviales, Rio Garagoa.

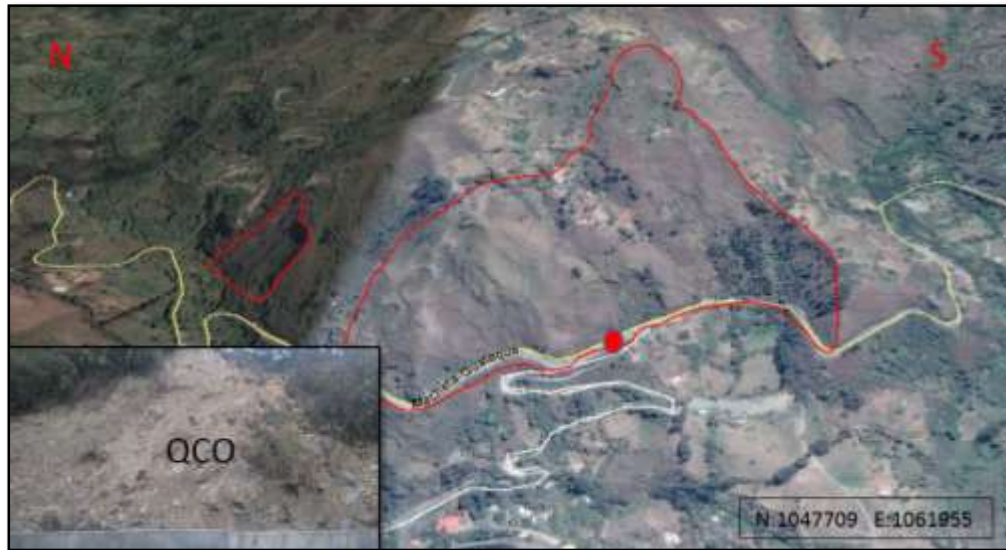


Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

2.1.3.2 Coluviones (Qco)

Los depósitos coluviones se encuentran en las bases de laderas en zonas de deslizamientos de gran magnitud. Se constituyen de material heterométrico con tamaños desde bloques hasta partículas tamaño arcillas. En la vereda Yavir del municipio de Almeida o la vereda Vijagual del municipio de Macanal es frecuente encontrar coluviones que corresponden a deslizamientos antiguos, en los municipios de Somondoco, Almeida, Macanal y Chivor se encuentran depósitos coluviones considerados de muy alta importancia a tener de referencia ya que estos generan daños directos a la infraestructura de estos municipios como la cabecera municipal en el caso de municipio de Almeida y puentes y vías en los otros municipios.

Figura 10. Coluviones



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

2.1.3.3 Depositos Aluviales (Qal)

Los Depositos Aluviales son acumulaciones de arenas y gravas en proceso activo de transporte que forman diferentes tipos de barras en los canales de los ríos, especialmente barras de meandro y barras longitudinales, como los que se presentan en el Río Somondoco a la altura del sector San Miguel.

Fotografía 9. Deposito Aluvial



Fuente: Proyecto de investigación UPTC.

2.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En la zona de estudio se evidencian pocas fallas, pero influyen en la tectónica del área de estudio las fallas de Tibirita y la falla de Pantanos que se extienden por varios Kilómetros. La acción tectónica en el piedemonte llanero incidió en la región, originando Estructuras sinclinales de gran amplitud y anticlinales angostos con planos axiales relativamente verticales.

2.2.1 FALLAS

2.2.1.1 Falla de Tibirita

Falla de tipo inversa, alto ángulo con componente transcurrente dextral, poco salto Vertical y vergencia al SE la cual inicia su traza cerca al municipio de Tibirita, con una dirección predominantemente NE, esta falla trunca la continuación al norte de varios pliegues, pasa desde la formación Fómeque hacia la Formación Une en dirección al N-E.

2.2.2 PLIEGUES

2.2.2 .1 Sinclinal de Almeida:

Es considerado como uno de los pliegues más importantes del área de estudio ya que este presenta grandes dimensiones tanto de amplitud como de longitud (casi 18 km en su parte más ancha y de 45 km de extensión) que se proyecta al NE dentro y fuera del área de estudio, pasando por el municipio de Almeida en dirección al N-E hacia el municipio de Garagoa.

Pliegue suave, subvertical (80° al NW de buzamiento de la superficie de charnela), con inmersión débil al norte. Presenta orientación general $N15^\circ E$ y el trazo de su eje pasa a 500 m al oriente del municipio de Almeida del cual toma su nombre (229: C4), a través de la formación Fomeque. En el núcleo de la estructura afloran rocas de la porción inferior de la Formación Fómeque¹⁴.

2.2.2 .2 Anticlinal de Garagoa

Este pliegue pasa a menos de 300 m al occidente del caserío de Las Juntas (210: G4). Presenta una longitud de más de 20 km en el área de estudio, pero su extensión es de por lo menos 35 km. Es un pliegue cerrado, subvertical (la superficie de charnela buza 87° al SE) con inmersión débil tanto al norte como al sur; el eje

¹⁴ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

muestra orientación de N20°E a norte-sur. El núcleo está conformado por el Miembro El Volador perteneciente a la porción inferior de la Formación Las Juntas.¹⁵

2.3 EVOLUCION TECTONICA

2.3.1 Paleozoico

El grupo farallones es la unidad litoestratigráfica que representa a paleozoico en el área de estudio. Constituye un basamento sedimentario (areno-lodoso) del Paleozoico superior sobre el cual se registran los primeros avances del mar cretácico inferior conocidas como formaciones Bata, Chivor, Santa Rosa.

Las rocas sedimentarias del Grupo Farallones aflorantes en el área de trabajo son de edad Devónico-Carbonífero, según Segovia & Renzoni, (1965) descansan discordantemente sobre las rocas del Grupo Quetame y hacen parte del Macizo de Quetame; la sedimentación de esta sucesión se dio en ambientes de deltas asociados en una cuenca intracontinental marina somera cuyos límites eran fallas normales con rumbo nororiente (Cáceres *et al.*, 2005). La sedimentación cretácica se deposita discordantemente sobre rocas paleozoicas, la cual es limitada y coinciden con las fallas nororiente que son las márgenes de las cuencas marinas intracontinentales (Cáceres *et al.*, 2005).¹⁶

2.3.2 Cretáceo inferior

La sedimentación de la secuencia cretácica de la Cordillera Oriental responde a un mecanismo tectónico de extensión, en donde la sedimentación de un evento *sinrift* se genera en una cuenca activa desde el Jurásico Tardío hasta el final del Cretácico Temprano (Etayo, *et al.*, 1969, Fabre, 1985., Cooper *et al.*, 1995, Sarmiento, 2001, Cáceres *et al.*, 2005), debido al estiramiento al que fue sometida la litosfera por el aumento del gradiente geotérmico y adelgazamiento en la parte inferior de la corteza (Fabrè, 1983, 1986). El espacio de acomodación estuvo controlado por subsidencia térmica que generó varios grabenes contiguos limitados por fallas normales.¹⁷

Desde el Berriasiano hasta el Albiano al final de la depositación del Une, se presentó esta sedimentación en el periodo cretácico es cual fue el producto del ingreso del mar a la región el cual estaba controlado por la Paleotopografía (entrantes y salientes de la línea costera), paleofallas y la sedimentación generada por las rocas del grupo farallones estos factores determinaban el tipo de material que se depositaría de tal forma mientras sector se depositaban arenitas y conglomerados en otros sectores se depositaban rocas de textura fina, tanto siliciclasticas como

¹⁵ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

¹⁶ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

¹⁷ Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

calcáreas, se cartografiaron cuatro unidades correspondientes al piso berriciano de las cuales tres se proponen como nuevas unidades litoestratigráficas (formación Santa Rosa, Ubalá y Chivor) y la cuarta está representada por la formación Batá. Para el intervalo Valanginiano-Albiano medio, está constituido por las formaciones Lutitas de Macanal (Valanginiano), las Juntas (Hauteriviano), Fómeque (Barremiano-Albiano inferior) y la porción inferior de la formación Uñe (Albiano medio).¹⁸

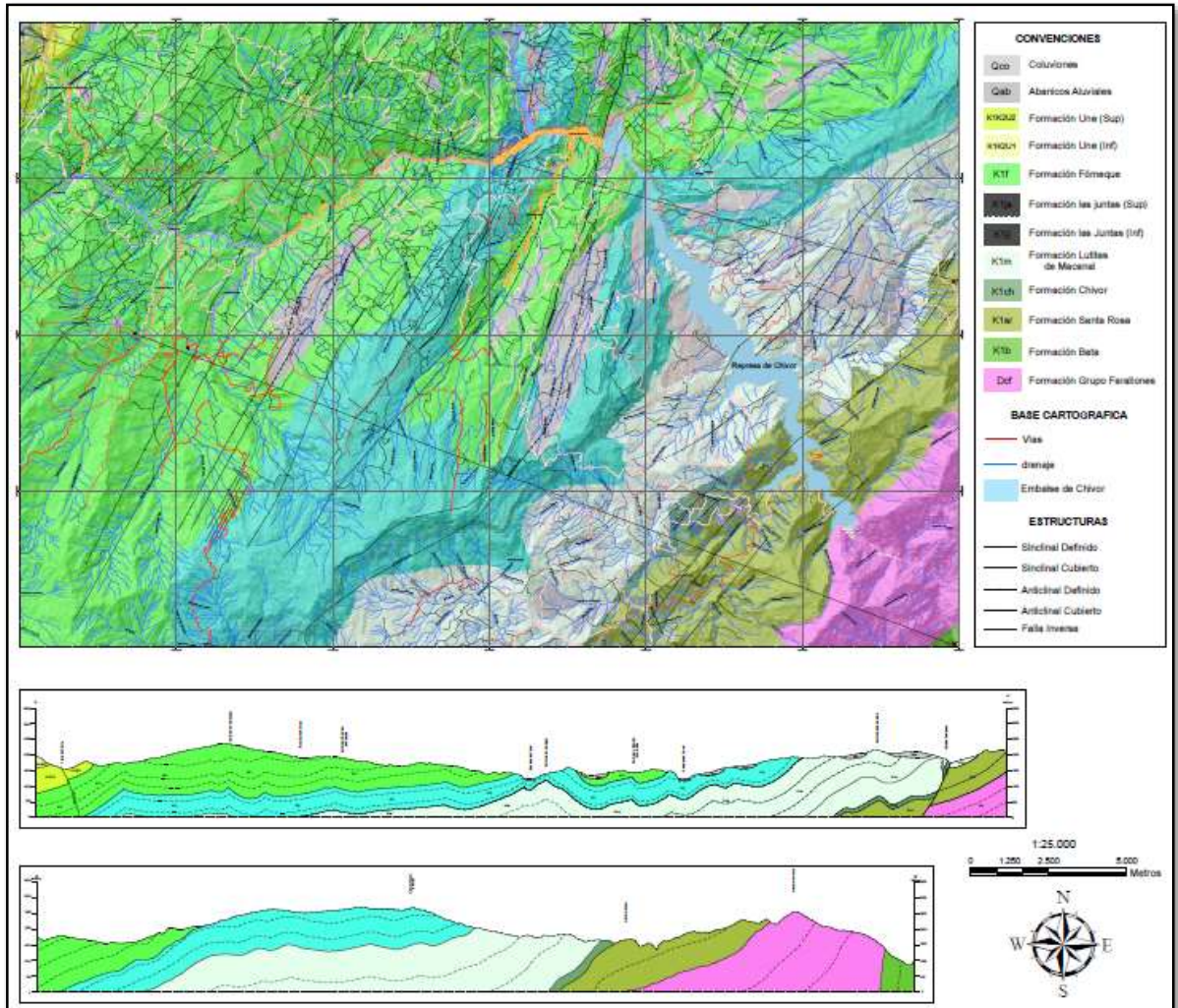
2.3.3 Cuaternario

Corresponde a depósitos sedimentarios recientes, acumulados posiblemente en el Holoceno y que se encuentran cubriendo discordantemente a las rocas preexistentes. Específicamente en el área de estudio depósitos coluviales y abanicos aluviales.

La figura 9 representa el mapa geológico final de la zona de estudio que corresponde a las planchas 210-IIIC, 210-IIID, 229-IA, 229-IB, se trazaron dos perfiles a fin de determinar la posición de las rocas a profundidad.

¹⁸Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

Figura 11. Mapa Geológico preliminar.



Fuente: Autor.

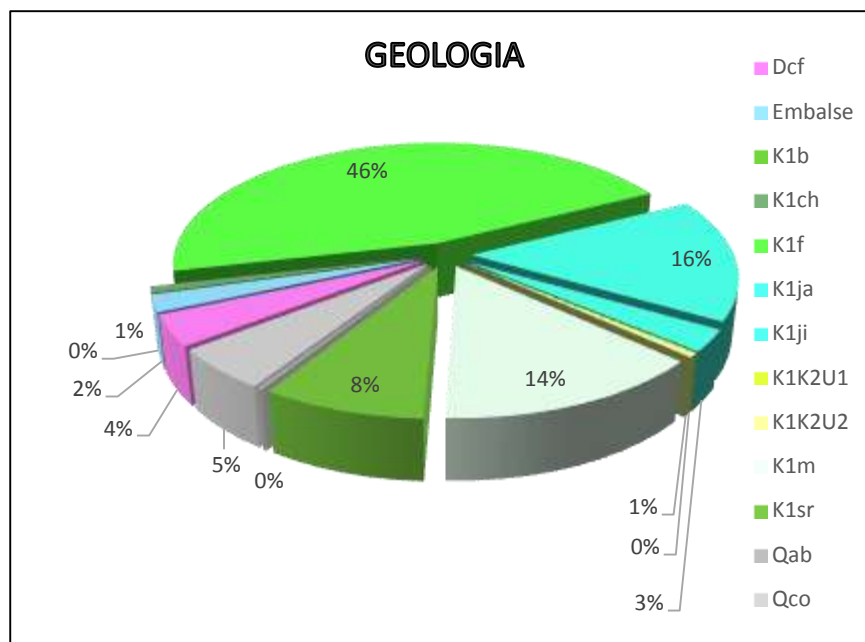
La tabla 5 muestra el porcentaje ocupado por las formaciones en el área de estudio. En total se muestran 10 formaciones, de las cuales el 44% pertenece a la formación Fomeque que aflora en su mayoría hacia la parte Noroeste de la zona, Seguida de la formación Arenisca de las Juntas con 20.21% (ambos miembros), Lutitas del Macanal (13,50%), Santa Rosa (7,65%). A lo largo del área de estudio se encuentran depósitos Coluviales, los cuales pueden representar movimientos en masa activos o inactivos. En total se encontraron en el área 10 formaciones de las cuales 1 pertenece al paleozoico, 7 al cretácico y dos depósitos inconsolidados del cuaternario.

Tabla 5. Porcentaje de las Formaciones

SIMBOLO	AREA (Km ²)	%
Dcf	21,449	3,57%
K1K2U2	3,025	0,50%
K1K2U1	0,505	0,08%
K1sr	45,955	7,65%
K1m	81,076	13,50%
K1ji	16,164	2,69%
K1ja	105,524	17,57%
K1f	267,406	44,51%
K1ch	4,628	0,77%
K1b	0,410	0,07%
Qco	41,222	6,86%
Qab	1,295	0,22%
Total	600,00	100,00%

Fuente: Autor

Figura 12. Porcentaje de las Formaciones



Fuente: Autor

3. GEOMORFOLOGIA

Según Carvajal (SGC, 2012), La Geomorfología es la ciencia que trata la descripción y el estudio de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y recientes de terreno (tanto terrestres como submarinas) y su relación con las estructuras infrayacentes. Esta ciencia está enfocada al análisis de la superficie de la tierra en donde interactúan la litosfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera

En este sentido, esta disciplina, estudia los procesos que le dieron origen al paisaje relacionándolo con el ambiente de formación. La geomorfología tiene por finalidad la descripción de las formas del terreno, y la explicación de su génesis (origen), evolución a través del tiempo geológico, la definición de la naturaleza de los materiales, la clasificación de los paisajes según el proceso o agente natural dominante, composición, edad, y la explicación de la magnitud de los agentes y procesos geomorfológicos modeladores¹⁹.

Para la realización de la susceptibilidad Geomorfológica se tuvo cuenta tres variables, Morfodinámica, Morfometría y Morfogénesis, dándole a cada uno una importancia significativa a la hora de ser calificadas. Los mapas se elaboraron tomando como referencia 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 del año 2012” del servicio Geológico Colombiano. La metodología para la realización de los mapas y sus variables se presentan a continuación:

2.1 MORFODINAMICA

Los procesos morfodinámicos están asociados a una secuencia conformada por la erosión de las rocas, el transporte de los materiales removidos y la sedimentación de dichos detritos. En consecuencia, los procesos morfodinámicos dependen de una serie de factores externos relacionados con la energía del agente morfogenético y la posición geomorfológica y de factores internos tales como la composición mineralógica de las rocas, su textura y grado de cohesión²⁰. Estos procesos morfodinámicos que dan pie serie de acciones sucesivas de manera los agentes morfogenéticos, principalmente los externos, son capaces de modelar las formas de la superficie terrestre

¹⁹ 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 año 2012).

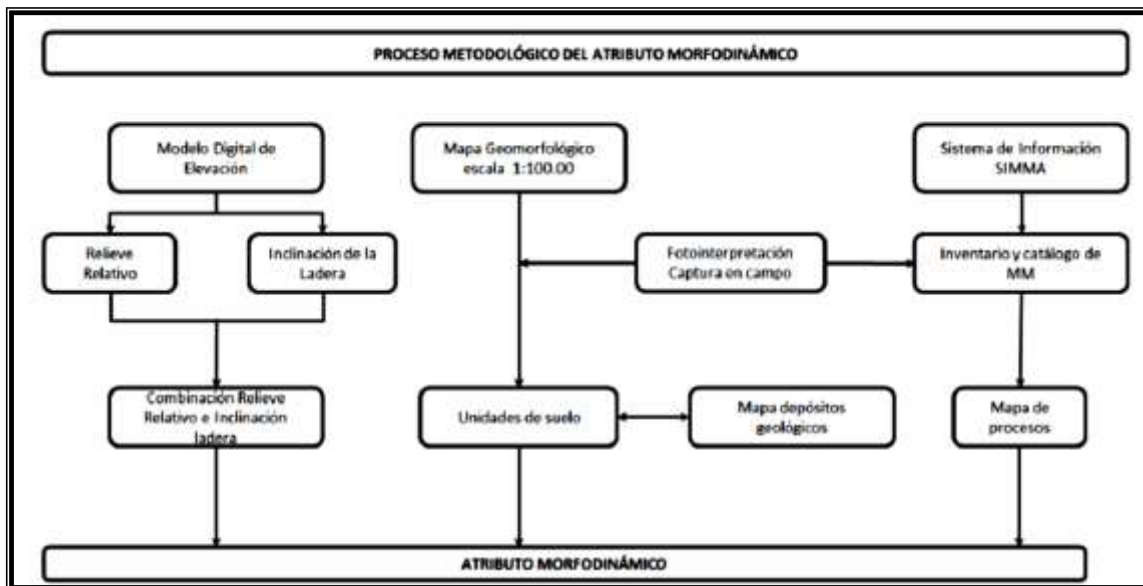
²⁰ Agentes y principios Geomorfológicos,
http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/1_1_2.html

En el área se evidencia gran actividad Morfodinámica, debido a que la presencia de agentes erosivos como el agua que hacen posible la modelación del terreno al margen de los ríos Garagoa, Somondoco entre otros. Debido a que la zona presenta gran humedad y periodos de lluvias constantes se hacen evidentes movimientos en masa inactivos, activos o reactivados, que representan desde el punto de vista geomorfológico suelos de origen transportado que se tienen en cuenta para el inventario de zonas inestables.

Para el análisis morfodinámico se tiene en cuenta variables Geométricas Halladas a partir del modelo de elevación digital de terreno DEM, tales como Inclinación de la ladera y relieve relativo, para posteriormente hallar la relación entre las dos (Relancli), así mismo contempla clasificación de las unidades de suelo presentes en el área basándose en las geoformas que representan suelos transportados (Depósitos) y finalmente se incluye el inventario de movimientos en masa fotointerpretados y observados en campo.

El esquema temático para la generación de las variables Morfodinámicas según el servicio Geológico Colombiano (SGC), se observan en la figura 11.

Figura 13. Esquema del Atributo Morfodinámico.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano (SGC 2012).

El resultado de las variables a evaluar se muestra a continuación:

3.1.1 Inclinación de la ladera.

Se hace referencia a la inclinación de la ladera porque generalmente está relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de los movimientos en masa. En general se puede afirmar que existe una relación directa y proporcional. Aunque si es un factor dinámico importante, esta relación no siempre es correlacionable y depende principalmente del tipo de material (VARGAS, 2001 en INGEOMINAS 2004).²¹

La tabla 6 muestra los grados de inclinación de la ladera tomado como referencia de Vargas (2001, en INGEOMINAS 2004) y modificado por (SGC 2012), y su relación con la resistencia del material.

Tabla 6. Inclinación de Ladera

Inclinación (Grados)	Descripción	Características del Material
<5	Plana a suavemente inclinada	Muy blanda y Muy baja susceptibilidad a MM
5-10	Inclinada	Blanda y baja MM.
10-25	Muy Inclinada	Moderadamente Blanda y Moderada susceptibilidad a MM.
15-20	Abrupta	Moderadamente Resistente y Moderada susceptibilidad a MM.
20-30	Muy Abrupta	Resistente y Alta susceptibilidad a MM.
30-45	Escarpada	Muy Resistente y Alta Susceptibilidad a MM.
>45	Muy Escarpada	Extremadamente Resistente y Alta susceptibilidad a MM.

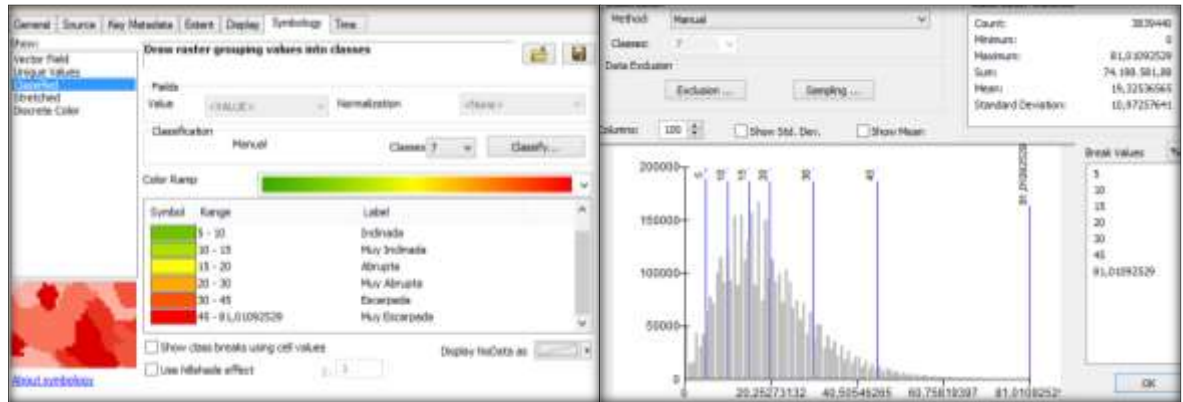
Fuente: Servicio Geológico Colombiano (SGC 2012).

Para la generación del mapa inclinación de ladera se utilizó el modelo de elevación digital (**DEM**), y a partir de la herramienta Sople del programa Arcgis 10.2.2 se realizó una caracterización de la pendiente en grados. Posteriormente se reclasifica de acuerdo a la inclinación propuesta por el SGC.

²¹ 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 año 2012).

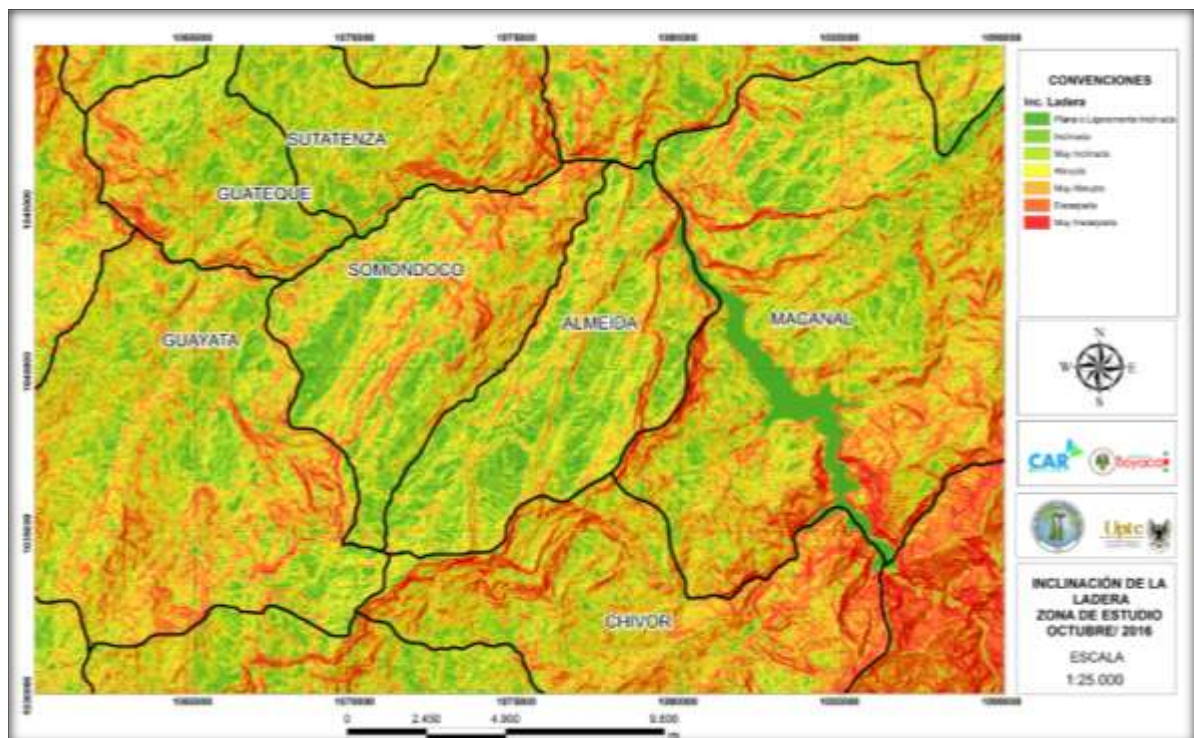
La figura 12, muestra la clasificación de la inclinación de la ladera en ArcGis, en el área de estudio el grado máximo de inclinación es de 81° por lo cual se deja el último valor por defecto.

Figura 14. Clasificación de Inclinación de Ladera en ArcGis.



Fuente: Autor

Figura 15. Mapa de Inclinación de Ladera.



Fuente: Autor

La figura 13 muestra el mapa de inclinación de laderas, se observa hacia la parte sureste de la zona las mayores inclinaciones que coinciden con el grupo Farallones, formaciones como Santa Rosa presentan inclinaciones, muy abruptas a escarpadas, Fomeque, Las Juntas y Lutitas del Macanal muestran inclinaciones de inclinadas a abruptas exceptuando las áreas con estratos arenosos, que muestran inclinaciones abruptas a escarpadas, y en sectores como en la represa de Chivor que presenta una inclinación plana.

3.1.2 Índice de Relieve Relativo

Se define como la geofoma, 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)²². Para la elaboración del mapa se tomaron los rangos de altura propuestos por Van Zuidam (1986) y su relación con la resistencia de los materiales asociados.

Para la generación del mapa de Índice de Relieve relativo se utilizó el modelo de Elevación Digital (DEM), con la Herramienta Focal Statics Type Range, del programa Arcgis 10.2. Posteriormente se realizó la clasificación de acuerdo a la Tabla 7, el máximo valor por defecto es de 931m :

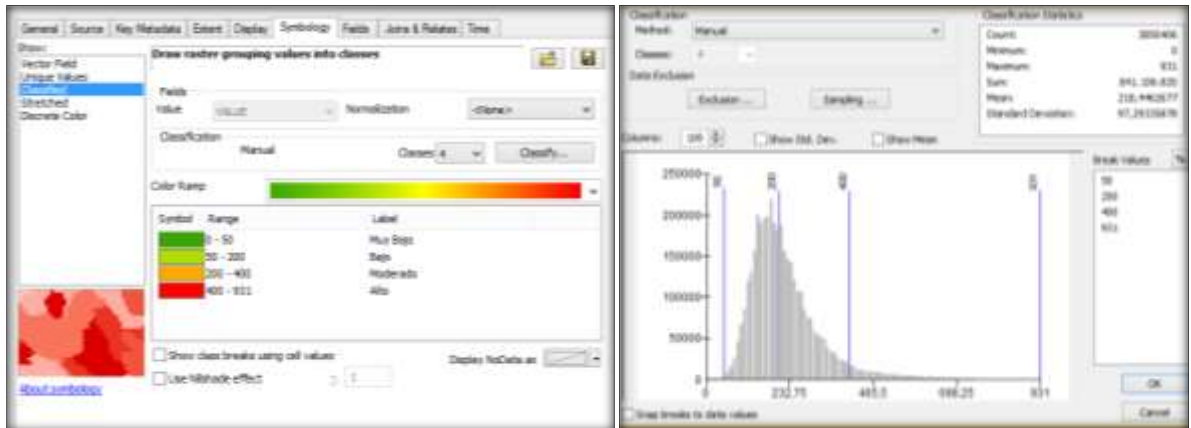
Tabla 7. Calificación del Relieve Relativo (RR)

Intervalos de altura (m)	Descripción del relieve	Resistencia relativa del material
<50	Muy Bajo	Materiales muy blandos y erosionables
50-200	Bajo	Blando erosionable.
200-400	Moderado	Moderadamente blando y erosión alta.
400-1000	Alto	Resistente y erosión moderada.
1000-2500	Muy Alto	Muy resistente y erosión baja.
>2500	Extremadamente Alto	Extremadamente resistente y erosión muy baja

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (SGC 2012).

²² 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 año 2012).

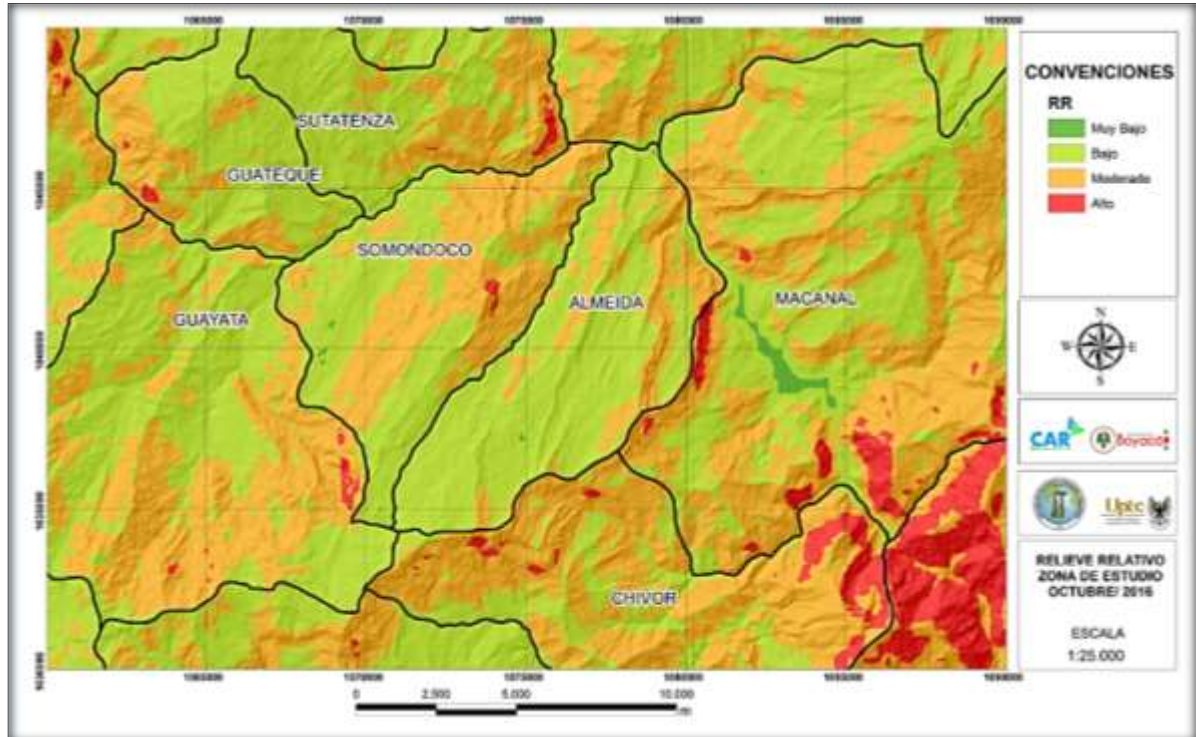
Figura 16. Clasificación de rangos del Relieve relativo



Fuente: Autor

El siguiente mapa (Figura 15) muestra el mapa de relieve relativo del área de estudio, se observan alturas muy bajas hacia la parte este, en donde se localiza la represa de Chivor, el resto de la zona en general presenta alturas de bajas a moderadas. Las mayores alturas (900m) se presenta en la parte sureste del área, que corresponde a las rocas del grupo Farallones

Figura 17. Mapa de Índice de relieve relativo.



Fuente: Autor

3.1.3 Unidades de Suelo

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.

El proceso de análisis inicial de los suelos transportados, se realiza con la interpretación de sensores remotos, tales como fotografías aéreas e imágenes satelitales, apoyado de insumos como el mapa geológico escala 1:25:000 elaborado en el proyecto y el inventario y catálogo de movimientos en masa SIMMA. Posteriormente se realiza la etapa de campo en donde se hace una cartografía detallada de las unidades de suelo.

Para el reconocimiento de las distintas unidades de suelo se hace una adaptación de la Geomorfología escala 1:25.000, teniendo en cuenta unidades compuestas principalmente por suelos, en la tabla 8 se muestran los ambientes morfogenéticos, los depósitos, su acrónimo equivalente, su calificación y las geoformas asociadas a estos, Dicha calificación es realizada por el servicio Geológico Colombiano SGC en su metodología para zonificación de movimientos en masa.

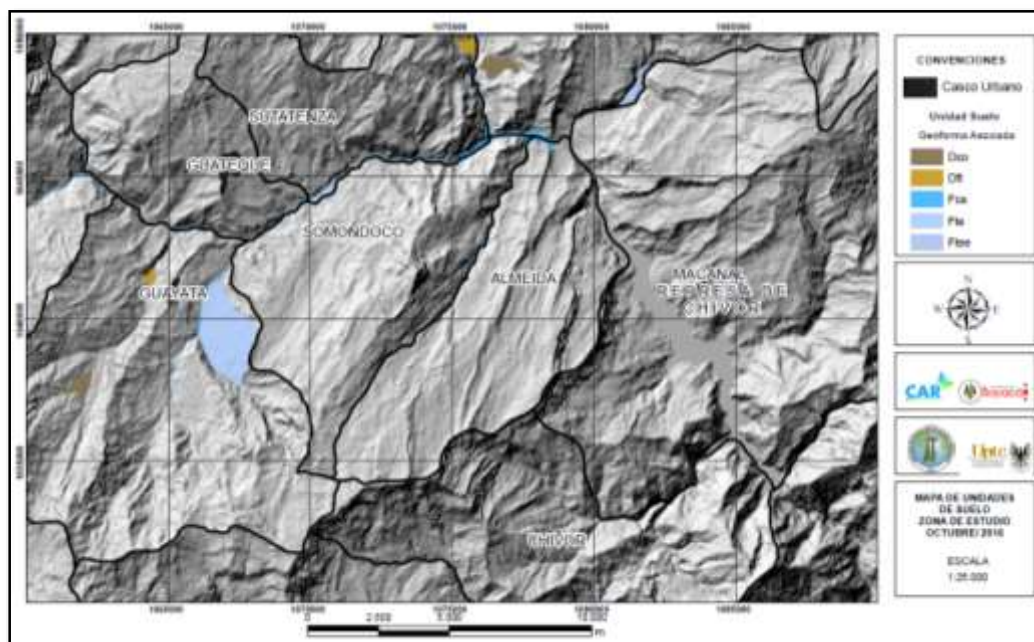
Tabla 8. Ambientes Morfogenéticos.

Ambiente	Deposito	Geoforma Asociada	Equivalente geomorfologico	Califica
Denudacional	Depósitos coluviales	Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión	Dco	5
	Depósitos de detritos	Cono o lóbulo de flujo indiferenciado	Dft	5
	Depósitos de terrazas aluvial	Terrazas de erosión, escarpe de terraza de erosión	Fte/ftee	2
	Depósitos Aluviales	Cauce aluvial	Fca	3

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (SGC 2012).

En el área de estudio se encuentran principalmente, depósitos de tierras que corresponden a Coluviones, depósitos de terrazas aluviales y depósitos de cauce aluvial, para efectos del área de estudio se les dara mayor importancia a los depósitos coluviales, debido a que presentan alta susceptibilidad a movimientos en masa. La figura 16 muestra las unidades de suelo presentes en el área de estudio.

Figura 18. Mapa de unidades de suelo.



Fuente: Autor

3.2 MORFOMETRÍA

Según Pedraza Gilsanz, (1996) la morfometría es el “Conjunto de técnicas, procedimientos y métodos, utilizados para determinar atributos configuracionales del relieve y, en base a ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno”²³; contempla variables cuantitativas en términos de Pendiente, Rugosidad y acuenca.

3.2.1 Pendientes

La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0° a 90° o en porcentaje, se relaciona con los movimientos en masa de manera que; a mayor el grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa²⁴. Para la Generación del mapa de pendientes se empleó el modelo de Elevación Digital de terreno (DEM), utilizando la herramienta Slope del programa ArcGis 10.2.2, para la clasificación se emplearon los rangos propuestos por el SGC en la metodología propuesta para zonificación de movimientos en masa 2012, en la siguiente tabla (Tabla 9) se muestra el rango de porcentaje utilizado para generar la clasificación de pendientes,

²³ <http://geologia.unsl.edu.ar/materias/geomorfologia/teorias/20xx/MORFOMETRIA.pdf>

²⁴ 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 año 2012).

diferente al que se utilizara para la calificación de la susceptibilidad, indicados estos rangos en el capítulo de susceptibilidad.

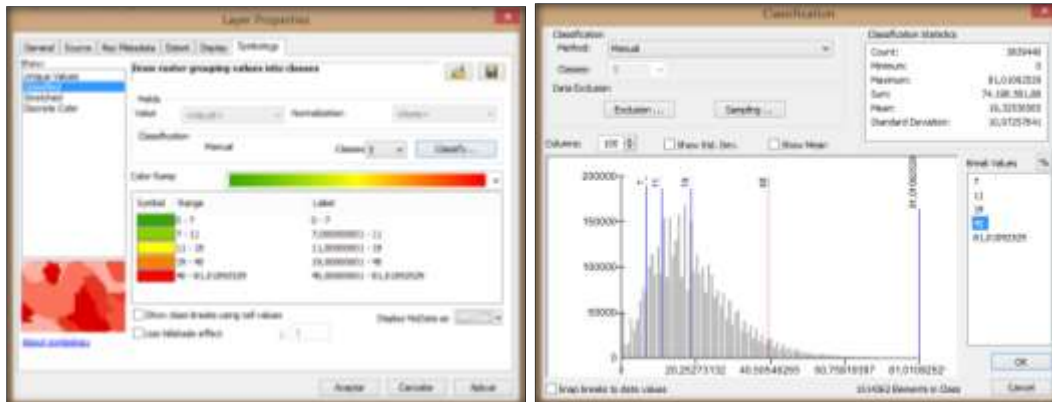
Tabla 9. Rangos de Pendiente

Rangos %	Descripción
0-3	Plana a suavemente inclinada
3-7	Inclinada
7-11	Muy inclinada
11-19	Abrupta
11-40	Escarpada
>40	Muy Escarpada

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (SGC 2012).

La figura 18 muestra el procedimiento para la clasificación de las pendientes en Arcgis.

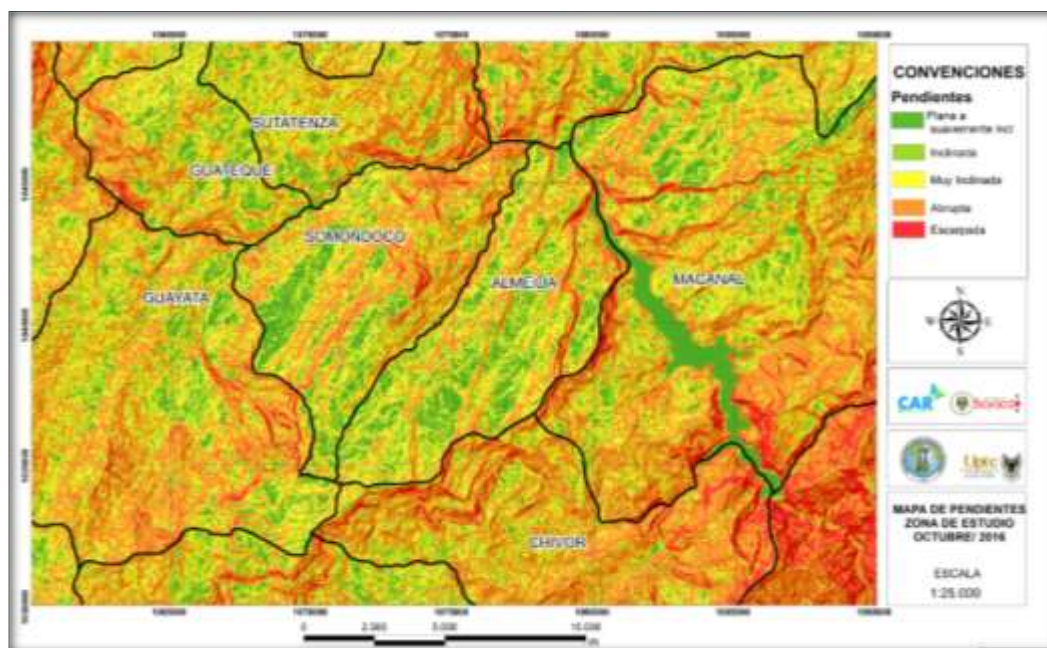
Figura 19. Clasificación de Pendientes en Arcgis



Fuente: Autor

La figura 19 muestra el mapa de pendientes, se observa que las máximas pendientes se presentan hacia la parte sur de la zona de estudio, en donde coinciden también los mayores relieves del área y las mayores inclinaciones. En otras partes se presentan también pendientes escarpadas en sitios donde afloran por lo general rocas competentes. En general la zona presenta pendientes planas a inclinadas en zonas bajas cercanías a la represa Chivor, y de inclinadas a abruptas en formaciones como Lutitas de Macanal, Fomeque, Santa Rosa, entre otros.

Figura 20. Mapa de Pendientes



Fuente: Autor

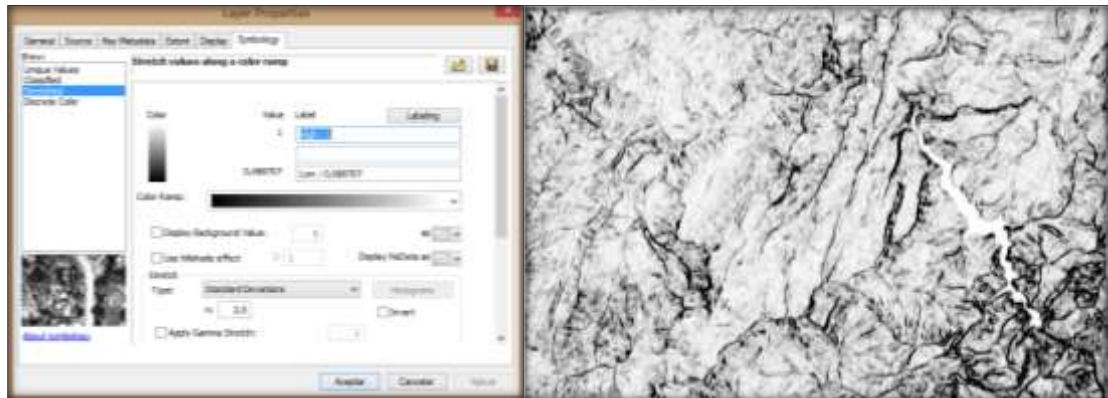
3.3.2 Rugosidad.

La rugosidad del terreno se define como la variación de la pendiente en un área y representa la desviación del vector normal a la superficie en cada celda. El valor 1 corresponde a rugosidad nula y los valores se hacen menores al aumentar la dispersión de los vectores (alta rugosidad). La rugosidad define bien las formas como los límites de taludes y laderas tanto en los valles como en las crestas (Felicísimo, 1992). Se relaciona con los movimientos en masa de manera que las laderas de rugosidad alta son más propensas a presentar movimientos en masa debido a que los cambios sucesivos de pendientes favorecen una mayor infiltración del agua en el terreno y por ende, aumenta la inestabilidad del mismo²⁵.

Para la generación del mapa de rugosidad se empleó el modelo de elevación digital (**DEM**) y la herramienta Terrain del software ArcGis 10.2.2. Como el máximo valor dado a la rugosidad es 1, siendo este el de menor valor de rugosidad, se hace una calificación de acuerdo a la metodología propuesta por el servicio geológico para mapas de Rugosidad.

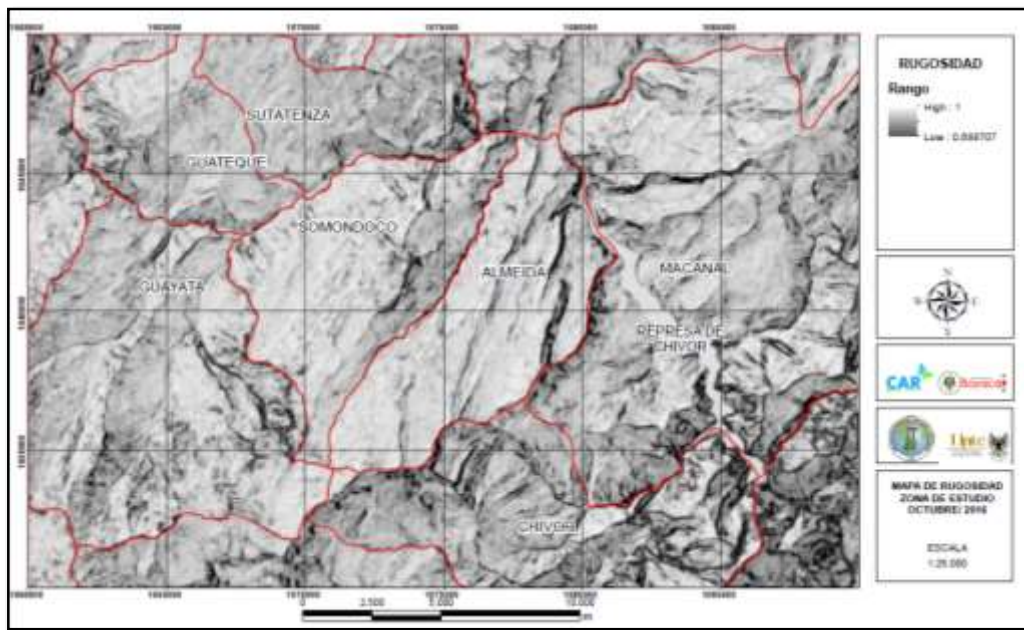
²⁵ Propuesta metodológica sistemática para la generación De mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del año 2012).

Figura 21. Valores iniciales del mapa de Rugosidad



Fuente: Autor

Figura 22. Mapa de Rugosidad



Fuente: Autor

En general la zona de estudio presenta alta rugosidad, en especial hacia la parte sur, en donde se encuentran los valores más cercanos a cero. En general existen determinados lugares del área en los cuales se hace evidente la rugosidad, por lo general en donde existen cambios de morfometría brusca, por lo que se favorece en mayor proporción la infiltración.

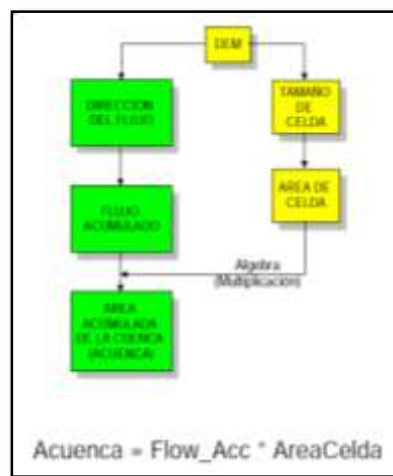
3.3.4 Acuenca

El atributo ACUENCA corresponde a la superficie de la cuenca aguas arriba de la celda cuya sumatoria de la superficie vierten a una celda determinada (cuenca acumulada). La variable se deriva del Modelo Digital de Elevación DEM. Si bien es una variable cuantitativa, los valores de superficie son múltiplo del área de una celda, no tratándose de una variable continua.

El área de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en un terreno, a mayor superficie más agua infiltrada y más posibilidades de desarrollar inestabilidad en el terreno (Neuland, 1976, Hatano 1976, Okimura 1983, Oyagi 1984).²⁶

Según Santacana (2001), el flujo de las aguas a través de la superficie es siempre en la dirección de máxima pendiente, una vez que la dirección de flujo (flow direction) es conocida es posible determinar cuáles y cuántas celdas fluyen hacia una celda particular, la sumatoria de estas se denomina flujos acumulados (flow accumulation). Los valores de los flujos acumulados multiplicados por el área del pixel crean la variable ACUENCA o sea el área de la cuenca. La figura 22 muestra el procedimiento sistemático para la generación de la variable acuenca. Para la producción del mapa se emplearon las herramientas Flow Direction y Flow Accumulation del programa Arcgis 10.2.

Figura 23. Generación del Mapa de Acuenca



Fuente: SGC/ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000.

²⁶ SGC/ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000

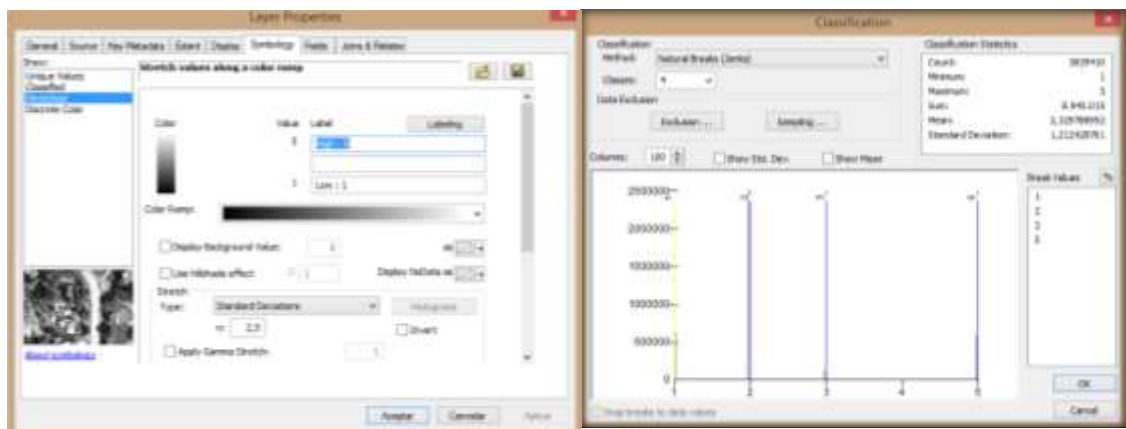
La clasificación del mapa de acuenca se realizó con respecto a la metodología propuesta por el servicio geológico para zonificación de movimientos en masa escala 1:100.000. La tabla 10 muestra la clasificación de los rangos para la acuenca

Tabla 10. Clasificación Acuenca

Clasificación	Descripción
1	Divisoria de Aguas o Lomos
2	Escorrentía Lenta
3	Flujo Acumulado
4	Drenaje no permanente
5	Quebradas, Ríos

Fuente: SGC/ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000

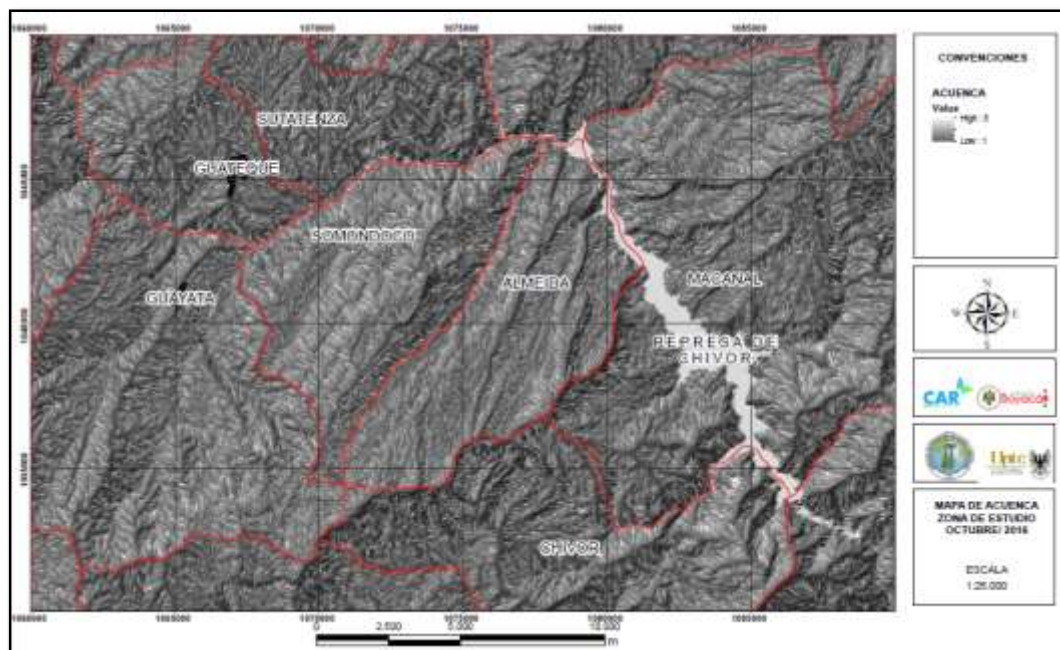
Figura 24. Clasificación del Mapa de Acuenca



Fuente: Autor

En general el área de estudio tiene gran demanda hídrica, debido a que por allí pasan gran cantidad de ríos y quebradas de gran magnitud que surten de manera sustancial los cascos urbanos y veredas. La mayor influencia por acuenca en el área de estudio es la represa de chivor, debido a la alta capacidad de almacenamiento de agua. La figura 23 muestra el parámetro para acuenca en el área de estudio.

Figura 25. Mapa de Acuenca



Fuente: Autor

3.3 MORFOGENESIS

La morfogénesis corresponde al origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno. La información morfogenética es representada en forma de unidades geomorfológicas; los parámetros de evaluación morfométrica permiten caracterizar una geoforma en su orden espacial individual y en su entorno, la morfogénesis junto a la morfocronología, recopila, explica y sintetiza la evolución geológica del relieve actual.²⁷

Para el proceso de la delimitación de las subunidades geomorfológicas presentes en el área de trabajo se tiene en cuenta el tipo de ambiente morfogenético al que pertenece. Así mismo se sigue un proceso metodológico que integra la interpretación de productos de sensores remotos y productos temáticos tales como geología y suelos, además de los productos obtenidos a partir de la etapa de campo en el cual se recogió información.

²⁷ 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 año 2012).

3.3.1 Ambientes morfogenéticos.

Se conoce como ambiente morfogenético a la agrupación de condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas, bajo las cuales se generan las geoformas. Estos dependen de factores como endógenos y exógenos que hacen posible la modelación del Terreno. En el área de estudio se encontraron tres ambientes principales:

- **Ambiente morfo-estructural:** Hace referencia a geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, principalmente asociado a fallas y pliegues, cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural de las rocas aflorantes.²⁸
- **Ambiente Denudacional:** Definido exclusivamente por los procesos exógenos degradacionales y 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 y además crean nuevas geoformas por acumulación de sedimentos.²⁹
- **Ambiente Fluvial:** Geoformas originadas por el efecto erosivo y acumulativo de las corrientes de los ríos y la sedimentación de materiales en cuencas restringidas respectivamente.³⁰
- **Ambiente Antropico :** Incluye las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno.³¹

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 del año 2012

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 año 2012

³⁰ 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 año 2012

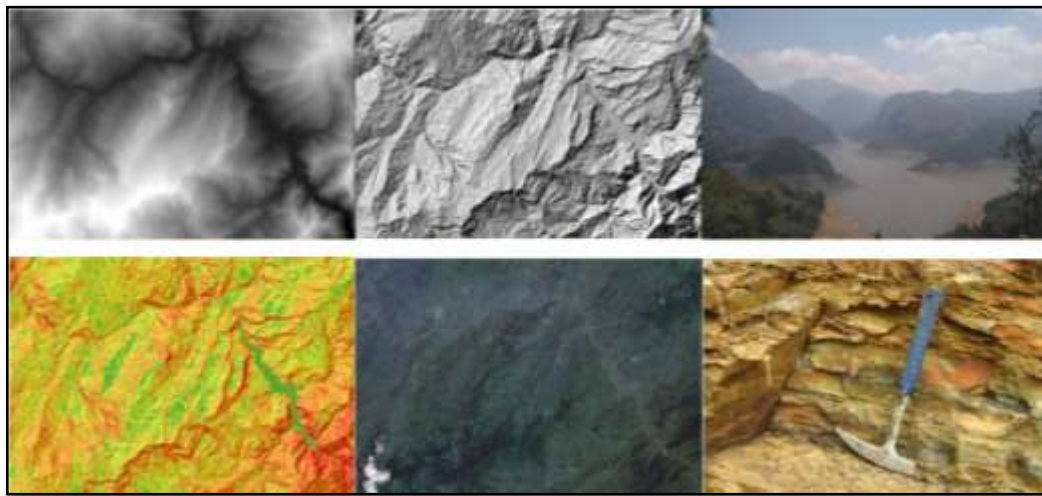
³¹ Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del año 2012

3.3.2 Metodología.

Para la elaboración del mapa Geomorfológico se tuvo en cuenta información disponible en las diferentes bases de datos e insumos suministrados por el Servicio Geológico Colombiano SGC.

Asi mismo se consideraron aspectos de importancia como la Geología presente en el área, suelos, y topografía. Para la etapa de interpretación se utilizaron imágenes satelitales y fotografías aéreas, apoyados de insumos como imágenes sombreadas, mapas de pendientes, inclinación del terreno, relieve relativo, drenajes entre otros.

Figura 26. Insumos para la realización del mapa Geomorfológico



Fuente: Autor

Se tomó como base los lineamientos generales establecidos en la metodología I.T.C (VERSTAPPEN Y VAN ZUIDAM, 1992, DAMEN). En donde los elementos cartográficos están representado, por símbolos; convenciones y colores usados en estándares de uso internacional (Metodología I.T.C – Verstappen y Van Zuidam 1992) con modificaciones establecidas por Carvajal (2002) y publicadas en el glosario geomorfológico del Servicio Geológico Colombiano³². 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

³² 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 año 2012.

nombre de la geoforma típica de cada ambiente morfogenético, ver Verstappen y Van Zuidam (1992)³³.

Carvajal (2008), propone el enfoque del análisis geomorfológico siguiendo un proceso analítico del terreno desde un punto de vista inicialmente regional hasta llegar a uno local. Para tal efecto desarrolla una propuesta de jerarquización geomorfológica, en la cual relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, y el detalle basado en los ambientes morfogenéticos, expresión morfológica, litología y procesos morfodinámicos³⁴. El esquema se presenta a continuación:

Figura 27. Esquema de Jerarquización geomorfológica



Fuente: Carvajal (2003) con base en Velásquez (1999), Ingeominas (2000), SGC (2012)

Para una mejor producción del mapa a escala 25.000 se decide trabajar a partir de subunidades geomorfológicas, que son diferenciadas por aspectos morfométricos y morfológicos determinados por la litología presente en el área, la disposición estructural, los procesos morfodinámicos asociados a unidades superficiales, tales como acumulación, transporte y erosión.

Definida la fotointerpretación de las diferentes unidades se realiza una intensiva etapa de campo en la cual se hace reconocimiento de los diferentes rangos de las

³³ 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 año 2012.

³⁴ 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 año 2012.

geoformas para así, realizar un ajuste que permita generar un mapa geomorfológico de excelente calidad.

3.3.3 AMBIENTE ANTROPOGÉNICO³⁵

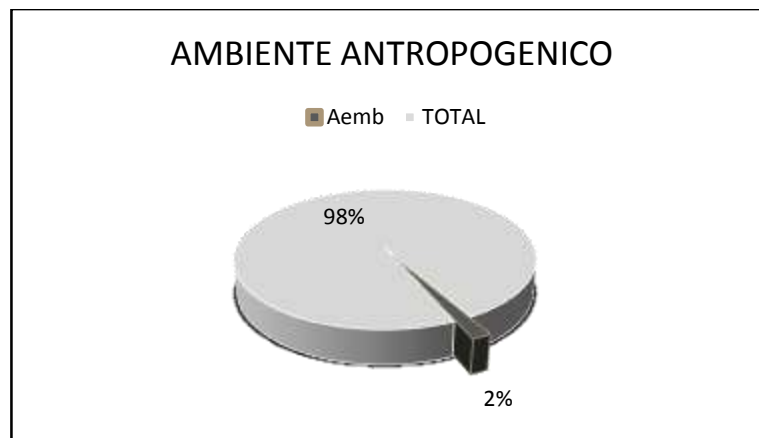
Incluye las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno. La tabla 11 muestra el área y el porcentaje de dicha geoforma en el área de estudio.

Tabla 11. Unidades Antropogenicas en el área de estudio.

SUBUNIDAD	NOMBRE	AREA (Km ²)	%
Aemb	Embalses	10,963	1,82%
	TOTAL	600	100%

Fuente: Autor

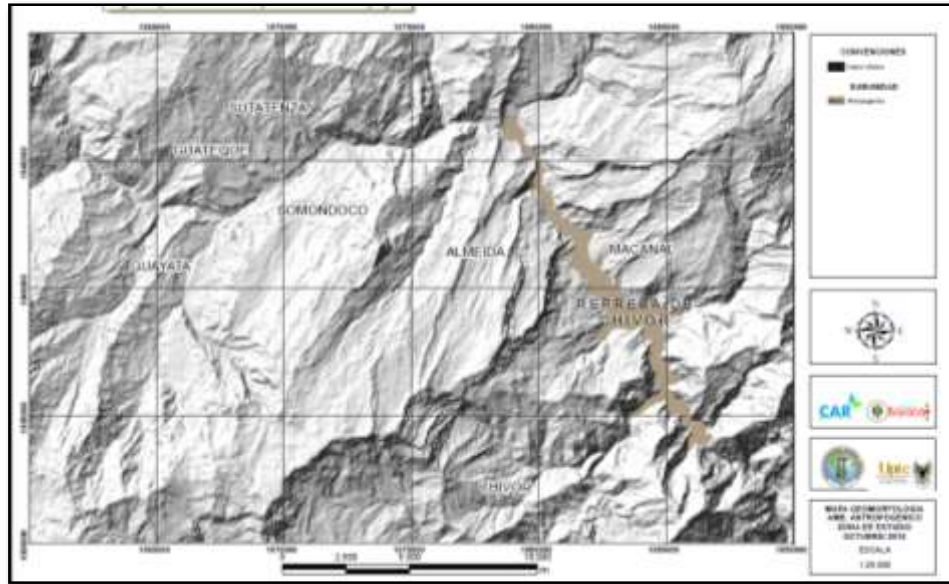
Figura 28. Porcentaje de Geoformas Antropogenicas



Fuente: Autor

³⁵ CARVAJAL, j. 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio geológico colombiano, Bogotá D.C, Colombia

Figura 29. Localización de Geoformas Antropogenicas en el área de estudio.



Fuente: Autor

3.3.1.1 Embalses (Aemb)

Geoforma localizada entre los municipios de Almeida, Macanal y Chivor, esta geoforma se ubica sobre rocas cretácicas de la Formación Santa Rosa (K1sr), lutitas de macanal (K1m) y las Juntas (K1j), esta es generada por la acumulación de aguas producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce, en este caso forma el embalse de la represa de Chivor, este embalse es uno de los proyectos mas importantes a nivel nacional, al cual concluyen as aguas del rio Somondoco, Garagoa, y las Quebradas Suatzenza, Cuya, Negra y Datil.

Fotografía 10. Embalses



Fuente: Proyecto de investigación UPTC.

3.3.2 AMBIENTE DENUDACIONAL³⁶

Incluye las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas por la acumulación de sedimentos.

Tabla 12. Geogormas Denudacionales.

SUBUNIDAD	NOMBRE	AREA (Km ²)	%
Dc	cima	4,855	0,81%
Dco	cono y lobulo coluvial y de solifluxion	1,194	0,20%
Deem	escarpe de erosión mayor	29,018	4,83%
Deeme	Escarpe de erosión menor	2,308	0,38%
Def	Escarpe faceteado	14,104	2,35%
Dft	Cono o lóbulo de flujo indiferenciado	0,523	0,09%
Dga	Glasis de acumulación	5,775	0,96%
Dld	Loma denudada	2,239	0,37%
Dldeal	Lomo denudado alto de longitud larga	4,902	0,82%
Dldebc	Lomo denudado bajo de longitud corta	0,860	0,14%
Dldebl	Lomo denudado bajo de longitud larga	5,494	0,91%
Dldebm	Lomo denudado bajo de longitud media	1,749	0,29%
Dle	Ladera erosiva	31,660	5,27%
Dlo	Ladera ondulada	50,898	8,47%
Dlor	Cono residual	1,246	0,21%
Dlres	Loma residual	6,158	1,03%
Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	0,951	0,16%
	Total: ambiente denudacional	163,934	27,29%
	TOTAL	600	100%

Fuente: Autor

³⁶ CARVAJAL, j. 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio geológico colombiano, Bogotá D.C, Colombia

3.3.2 .1 Cima (Dc)

Geoforma localizada en la vereda el resguardo entre los municipios de Somondoco y Almeida, se presenta en rocas cretácicas de la formación las Juntas (K1j), se distingue miembro arenoso superior denominado miembro el volador (K1jv). Esta geoforma se presenta como una superficie amplia convexa a plana, dispuesta en franjas alargadas que bordean algunas divisorias de agua. Presentan pendientes planas a inclinadas con anchos entre 200 y 800m limitadas por laderas cuya inclinación puede ser moderada a escarpada.

Fotografía 11. Cima



Fuente: Proyecto de investigación UPTC.

3.3.2 .2 Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)

Geoforma Ubicada en la vereda ovejas del municipio de Sutatenza, se encuentra sobre rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f),compuesta por lodolitas negras con intercalaciones recuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología. Esta geoforma se presenta como una estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja, su origen es relacionado a procesos de transporte y depositacion de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados.

Fotografía 12. Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC.

3.3.2 .3 Escarpe de Erosión Mayor (Deem)

En el área de estudio se encuentra varias geoformas de este tipo, tomando como ejemplo se toma la presente en la vereda la Vega del municipio de Macanal, sobre rocas cretácicas de la formación Santa Rosa (K1sr), constituida por conglomerados intercalados con arenitas muy fina. Esta geoforma se presenta como una ladera abrupta o a desplome, de altura variable que puede formarse por distintas causas: tectónicas por la abrasión, por procesos gravitacionales y glaciales, eventualmente de longitud corta a larga, de form cóncava, convexa y recta, con pendiente escarpada a muy escarpada.

Fotografía 13. Escarpe de Erosión Mayor.

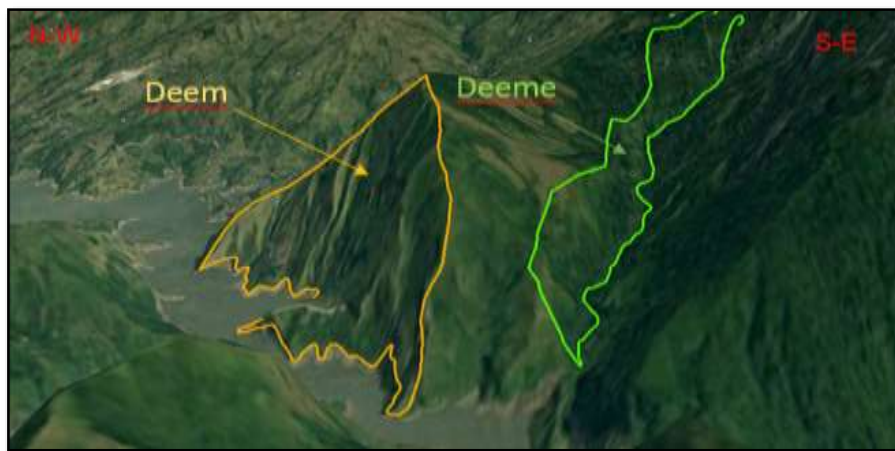


Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .4 Escarpe de Erosión Menor (Deeme)

Geoforma que se localiza en la vereda peña verde, municipio de Macanal, sobre rocas cretácicas de la Formación Santa Rosa (K1sr) constituida por conglomerados intercalados con arenitas muy fina. Esta geoforma se presenta en una ladera abrupta o a desplome d longitud corta a larga, de forma cóncavo convexa y eventualmente recta, con pendiente escarpada a muy escarpada originando por socavación fluvial lateral o por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje.

Figura 32. Escarpe de Erosión Menor.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .5 Escarpe Faceteado (Def)

Geoforma que se ubica en la vereda centro del municipio de Santa María, sobre rocas del Paleozoico del Grupo Farallones (Dcf), compuesta por cuarzoarenitas blancas, muy finas, maduras, compactas intercaladas con arenitas lodosas y lodolitas gris oscura con restos vegetales. Esta geoforma se presenta en una superficie triangular o trapezoidal, de base amplia y tope angosto, con laderas de morfología alomada, cóncava de longitud corta a moderadamente larga y pendientes escarpadas a muy escarpadas.

Figura 33. Escarpe Faceteado.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .6 Cono o Lóbulo de Flujo Indiferenciado (Dft)

Esta geofoma se localiza en la vereda Guamo en el municipio de Sutatenza, sobre rocas cretácicas de la formación Fómeque (K1f), la cual está compuesta por lodolitas negras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas las cuales son muy apreciables en la morfología. Forma una estructura en forma de lóbulo o abanico de morfología alomada convexa, con una longitud muy larga a extremadamente larga, abrupta a muy abrupta. Su origen es relacionado a avalanchas torrenciales inducidas posiblemente por eventos sísmicos o cambios climáticos asociados a lluvias torrenciales.

Fotografía 14. Cono o Lóbulo de Flujo Indiferenciado



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .7 Glacis de Acumulación (Dga)

Esta geoforma se localiza a lo largo de las veredas el resgurado y sabanetas del Municipio de Somondoco y esta se encuentra sobre un deposito coluvial (Qco), la que se compone por material heterométrico desde bloques hasta partículas tamaño arcilla que se acumulan en la base de escarpes, valles fluviales y rellenos topográficos. Forma una superficie de acumulación con longitud moderadamente larga, cóncava, suavemente inclinada, su origen se debe a la acumulación de material fino por procesos de erosión laminar, incluye los planos adyacentes formados por cuerpos coluviales de material fino y bloques, producto de la erosión laminar de las laderas circundantes.

Figura 34.Glacis de Acumulación



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .8 Loma Denudada (Dld)

Esta geoforma se localiza a lo largo del caserío de los naranjos del municipio de Macanal, se encuentra sobre rocas cretácicas de la formación Lutitas de Macanal (K1m) que presenta una sucesión monótona de arcillolitas oscuras laminadas, con intercalaciones de cuarzoarenitas limolitas y lodolitas. Es una prominencia topográfica con una altura menos de 200m sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada, laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas su origen es asociado a intensos procesos de meteorización y erosión diferencial.

Fotografía 15.Loma Denuada

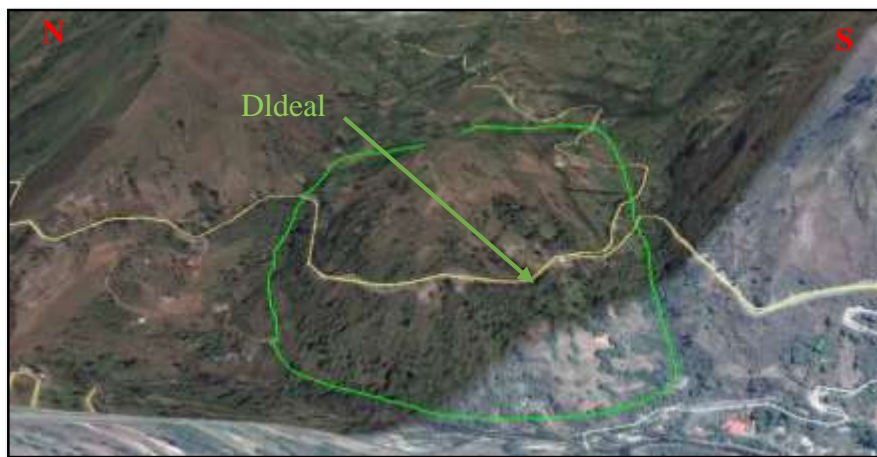


Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .9 Lomo Denuado Alto de Longitud larga (Dldeal)

Esta geoforma se localiza en la vereda Llanos del municipio de Tibirita y se encuentra sobre rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), y rocas de la formación Une (K1K2U2) en su miembro inferior, estos son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo mayor que 1000m y el eje principal tiene una longitud mayor que 1000m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal.

Figura 35. Lomo Denuado Alto de Longitud larga

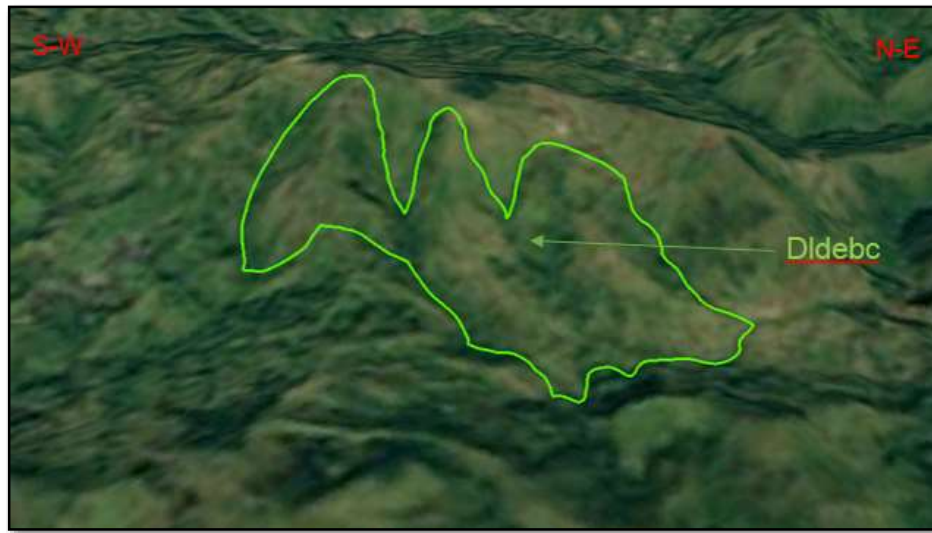


Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .10 Lomo Denudado Bajo de Longitud Corta (Dldebc)

Geoforma localizada en la vereda Sinaí del Municipio de Chivor, se encuentra sobre rocas cretácicas de la Formación Santa Rosa (K1sr), constituida por conglomerados intercalados con arenitas muy fina y lodolitas negras micáceas alternando con arcillolitas grisáceas oscuras. Estos son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor a 250m, son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal.

Figura 36.Lomo Denudado Bajo de Longitud Corta



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .11 Lomo Denudado Bajo de Longitud Larga (Dldebl)

Geoforma localizada en la vereda Guavio del municipio de Chivor, sobre rocas cretácicas de la formación Chivor (K1ch), compuesta por lodolitas silicificadas y limonitas de color negro intercaladas con nieles de yeso con estructura nodular y heuterulítica. La geoforma se caracteriza por ser sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas, son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades del levantamiento del conjunto cordillerano o la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico.

Fotografía 16. Lomo Denudado Bajo de Longitud Larga



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .12 Lomo Denudado bajo de longitud media (Dldebm)

Geofoma localizada en la vereda el Pino y la vereda Centro del municipio de Chivor, sobre rocas cretácicas de la formación Chivor (K1ch) y la Formación Lutitas de Macanal (K1m). Esta geofoma son conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal, la inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico.

Figura 37.Lomo Denudado bajo de longitud media



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .13 Ladera erosiva (Del)

Esta geoforma está localizada en varios sectores del área de estudio principalmente sobre las formaciones Fomeque(K1f), las Juntas (K1j) y la formación Lutitas de Macanal y corresponde a superficies de terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dentritico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas surcos y soliflucción, sobre materiales de suelo o roca.

Fotografía 17.Ladera erosiva



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .14 Ladera Ondulada (Dlo)

Esta geoforma se localiza principalmente sobre la formación Fomeque (K1f), en algunos depósitos coluviales (Qco), presentan una superficie en declive de morfología alomada a colinada, pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdetrítico a subparalelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales.

Fotografía 18. Ladera Ondulada



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .15 Loma Residual (Dlor)

Esta geoforma se localiza en la vereda Romaquira del municipio de Guayata y se ubica sobre rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), constituida por lodolitas negras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología. Prominencia topográfica con una altura menor de 200m sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada de laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas, constituida por suelos residuales cubiertos por niveles de material coluvial.

Figura 38. Loma Residual



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .16 Lomo Residual (Dlres)

Esta Geoforma se localiza en la vereda Gaque del municipio de Sutarenza y se ubica sobre rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), constituida por lodolitas negras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología. Se presenta en elevación el terreno menor de 200 m con morfología alomada y alargada, laderas corta a moderadamente largas, convexas a eventualmente cóncavas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas y con drenaje dendrítico, desarrollado de manera general, sobre materiales afectados por meteorización diferencial intensa.

Figura 39.Lomo Residual



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.2 .17 Montículo y Ondulaciones Denudacionales (Dmo)

Esta geoforma se ubica en la vereda Tencua Arriba del Municipio de Gayata, sobre rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), compuesta por lodolitas negras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología. Se presenta como una elevación del terreno con una altura menor de 50m sobre su nivel de base local, con una morfología colinada, cóncava a convexa, suavemente inclinada y con drenaje divergente. Su origen es relacionado a procesos de meteorización y erosión intensa sobre rocas blandas o friables y el sedimento no consolidados, dispuestos de manera horizontal a ligeramente inclinados.

Figura 40. Montículo y Ondulaciones Denudacionales



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

En total se encontraron 17 Geogormas de ambiente denudacional las cuales se muestran de acuerdo a porcentaje de ocupacion en la tabla 12. La figura 19 muestra el mapa de localizacion de las unidades de origen denudacional:

3.3 AMBIENTE FLUVIAL Y LAGUNAR³⁷

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 el área de estudio se presentaron tres geoformas asociadas al ambiente fluvial, cauces aluviales y terrazas y escarpes de erosión. El área total de estas formas de relieve tiene 5640 km² que representan el 1.27% del área de estudio. La tabla 13 muestra las geoformas encontradas junto al área ocupada y su porcentaje.

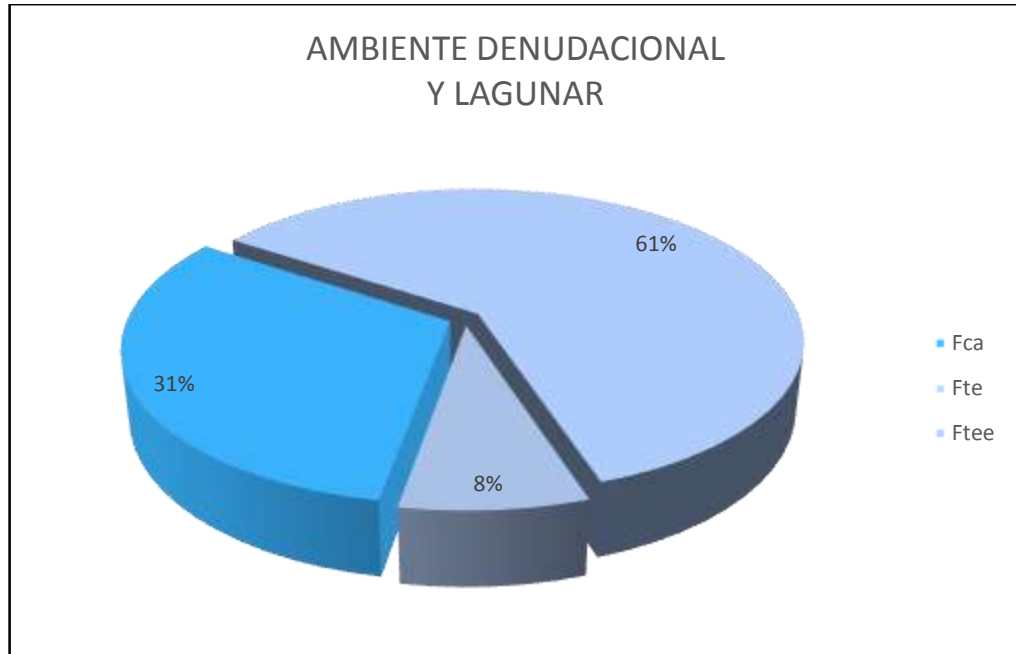
Tabla 13. Geoformas de Ambiente Fluvial y Lagunar.

SUBUNIDAD	NOMBRE	AREA (Km²)	%
Fca	Cauce aluvial	2,406	0,40%
Fte	Terraza de erosión	4,634	0,77%
Ftee	Escarpe de terraza de erosión	0,600	0,10%
	Total : fluvial y lagunar	5,640	1,27%
	TOTAL	600	100%

Fuente: Autor.

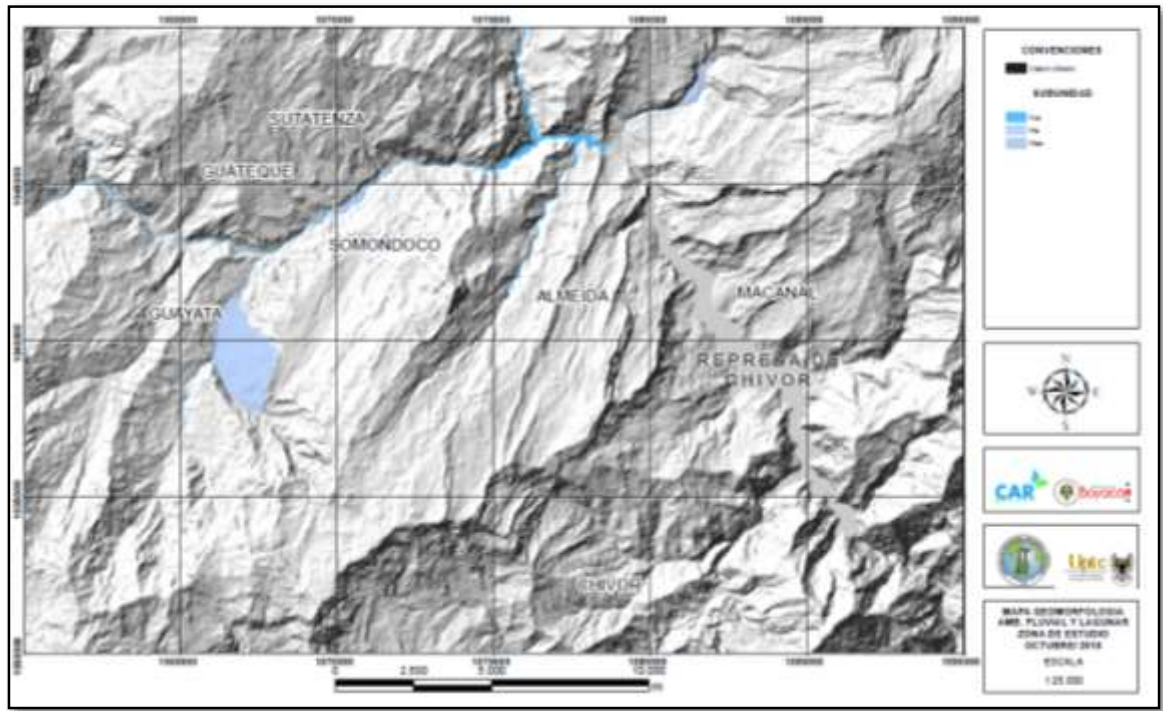
³⁷ CARVAJAL, j. 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio geológico colombiano, Bogotá D.C, Colombia

Figura 41. Porcentaje de Geoformas de Ambiente Fluvial y Lagunar.



Fuente: Autor

Figura 42. Localización de Geoformas Ambiente Fluvial y Lagunar en el área de estudio.

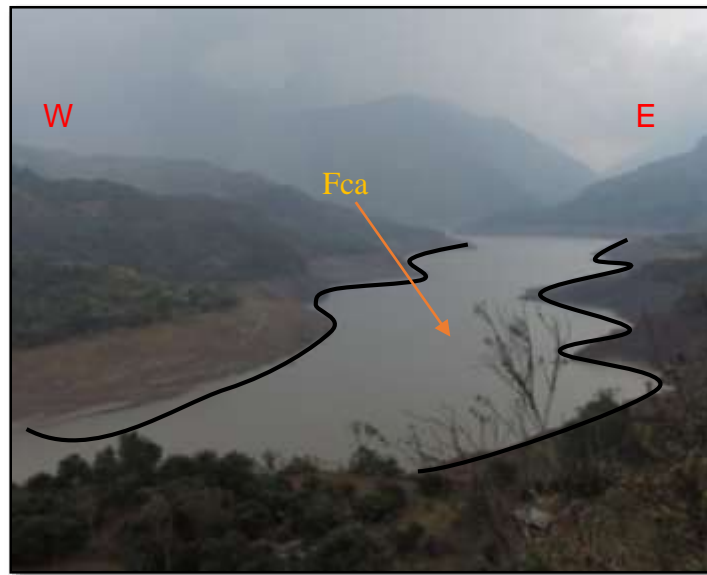


Fuente: Autor

3.3.3.1. Cauce aluvial (Fca)

Geoforma localizada en los ríos el Salitre, Aguacia, Sunuba, Somondoco y las quebradas Tencua, Negra, Cuya y el Datil, entre los municipios de Guayata, Guateque, Sutateza, Somondoco y Almeida, se encuentran en rocas cretácicas de las formaciones Fomeque (K1f) y las Juntas (K1j). Es un canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro del masizo rocoso y los sedimentos aluviales, el cual se restringe a valles en forma de V. La fotografía 29 muestra una geoforma típica de cauce aluvial.

Fotografía 19. Cauce aluvial



Fuente: Proyecto de investigación UPTC.

3.3.3.1 Terraza de Erosión (Fte)

Esta geoforma se localiza en las veredas Siabita uno, Siabita dos y sabanetas del municipio de Guayata y sobre rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), la cual está constituida por lodolitas negras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología. Se presenta como una superficie elongada, plana a suavemente ondulada, limitada por escarpes de diferente altura, que se presenta en forma alterna y no junta a lo largo el cauce de un río, esta relacionado su origen a procesos de erosión aluvial lateral.

Figura 43. Terraza de Erosión

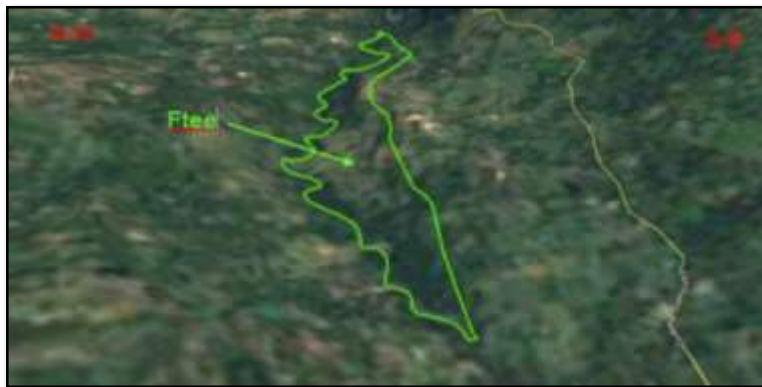


Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.3.3 Escarpe de Terraza de Erosión (Ftee)

La geoforma se localiza en la vereda Potreritos del Municipio de Guayata, presente en rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), constituida por lodolitas negras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología. Se presenta como un plano vertical a subvertical, escalonado, que bordea a las terrazas aluviales de erosión. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce sobre el estrato rocoso. La altura de los escarpes puede variar desde pocos metros a decenas de metros.

Figura 44. Escarpe de Terraza de Erosión



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4. AMBIENTE ESTRUCTURAL³⁸

Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades. Este ambiente es el más común en el área de estudio, ya que ocupa alrededor de 429, 52 km² siendo el equivalente a 69,62 % del total. Las geoformas más comunes encontradas en el área de estudio corresponden a laderas estructurales, asociadas a sierras sinclinales. La tabla 14 muestra las diferentes unidades Geomorfológicas presentes en el área de estudio y su porcentaje correspondiente. La figura 33 muestra el mapa que contiene las unidades de ambiente estructural en la zona y su localización espacial.

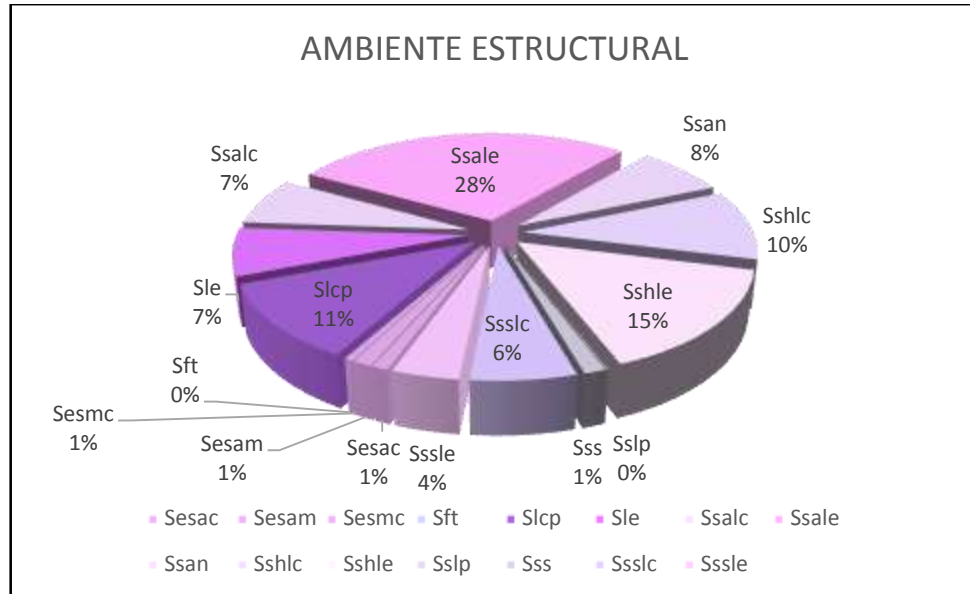
Tabla 14. Geoformas Ambiente Estructural.

SUBUNIDAD	NOMBRE	AREA (Km²)	%
Sesac	Espolón alto de longitud corta	3,862	0,64%
Sesam	Espolón alto de longitud media	4,720	0,79%
Sesmc	Espolón moderado de longitud corta	1,752	0,29%
Sft	Faceta triangular	0,260	0,04%
Slcp	Ladera contrapendiente	46,018	7,66%
Sle	Ladera estructural	29,361	4,89%
Ssalc	Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal	29,503	4,91%
Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	117,067	19,49%
Ssan	Sierra anticlinal	31,123	5,18%
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	43,237	7,20%
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	63,811	10,62%
Sslp	Sierra y lomo de presión	0,312	0,05%
Sss	Sierra sinclinal	5,293	0,88%
Ssslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	25,586	4,26%
Sssle	Ladra estructural de sierra sinclinal	16,321	2,72%
	Total: ambiente estructural	419,526	69,62%
	TOTAL	600	100%

Fuente: Autor

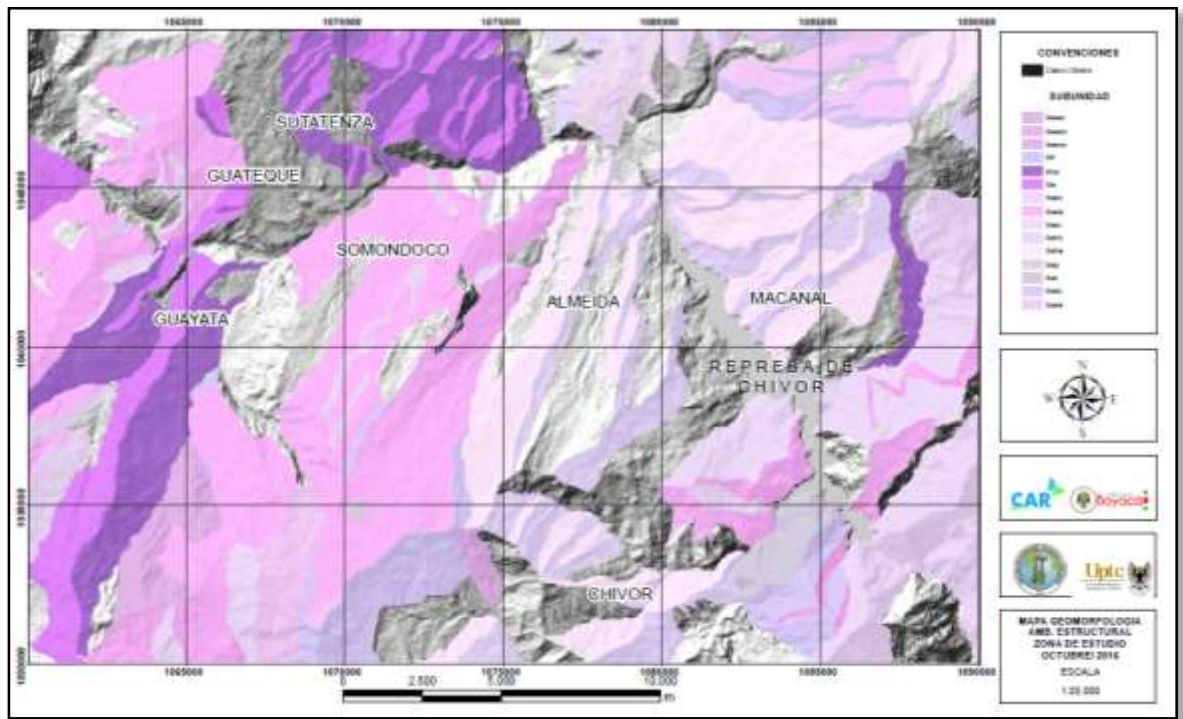
³⁸ CARVAJAL, j. 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio geológico colombiano, Bogotá D.C, Colombia

Figura 45. Porcentaje de Ambiente Estructural



Fuente: Autor

Figura 46. Localización de Geformas ambiente Estructural en el área de estudio.



Fuente: Autor

3.3.4.1 Espolón alto de longitud corta (Sesac)

La geoforma se localiza en la vereda Fonsaque Arriba del municipio de Guayata sobre rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), la cual está constituida por lodolitas negras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología. Esta geoforma es saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, desarrollado sobre rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias y limitado por drenajes paralelos a subparalelos. Con laderas de longitud variable por pendientes reducidas por procesos denudativos.

Fotografía 20. Espolón alto de longitud corta.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC.

3.3.4.2. Espolon alto de longitud media (Sesam)

La geoforma se localiza en la vereda Romaquira del municipio de Guayata sobre rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), constituida por lodolitas negras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología. Posee una morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, desarrollados sobre rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias y limitado por drenajes paralelos a subparalelos, laderas de longitud variable, con pendientes reducidas por intensos procesos denudativos.

Figura 47. Espolon alto de longitud media

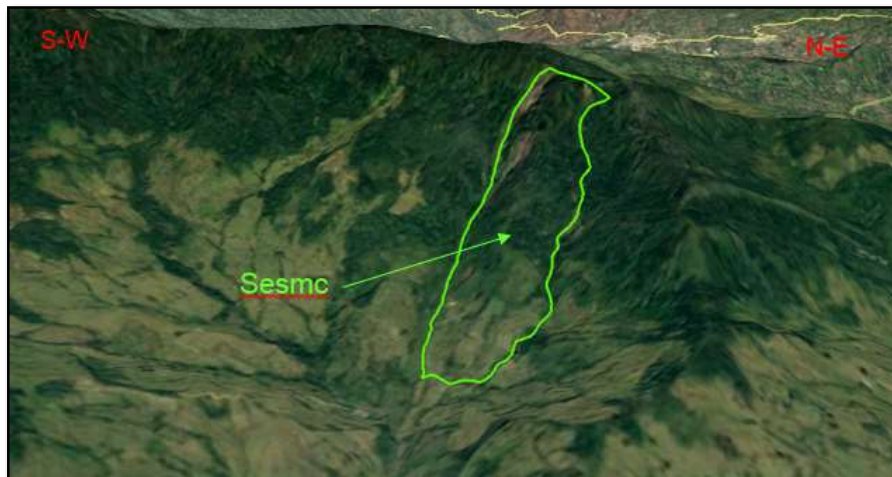


Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.3. Espolón moderado de longitud corta (Sesmc)

La geoforma se localiza en la vereda San Cayetano del Municipio de Chivor sobre rocas cretácicas de la formación las Juntas (K1j), las cuales están conformadas en su miembro inferior por areniscas con intercalaciones de Lutitas, conocido como el miembro Almeida(K1ja). Es saliente de morfología alomada, perpendicular a la tendencia estructural de la región, con laderas de longitud variable, con pendientes que se ven reducidas de abruptas a inclinadas por intensos procesos denudativos.

Figura 48. Espolón moderado de longitud corta.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.4. Faceta triangular (Sft)

La geoforma se localiza en la vereda Carrizal del municipio de Guayata, sobre rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), constituida por lodolitas negras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología. Es un plano vertical a subvertical abrupto, recto con una morfometría en planta triangular a trapezoidal, su origen se relaciona al truncamiento y desplazamiento de relieves estructurales o de interfluvios, por procesos de fallamiento y posterior erosión diferencial.

Figura 49. Faceta triangular

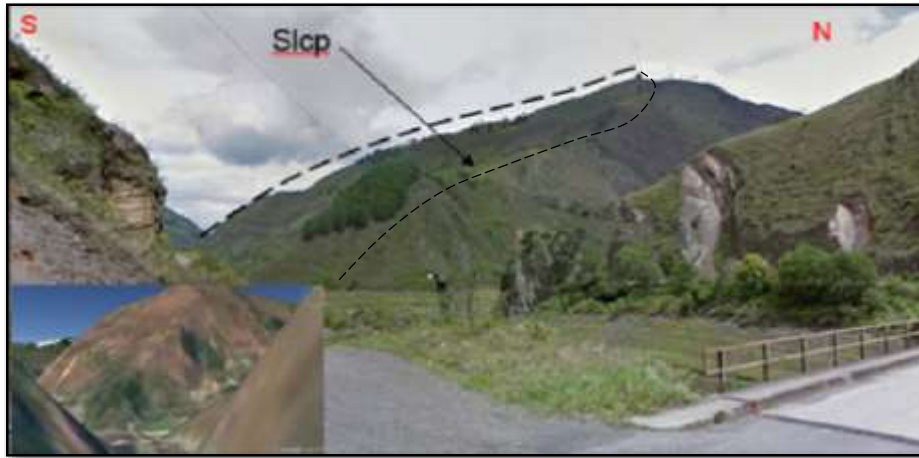


Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.5. Ladera Contrapendiente (Slcp)

Esta geoforma se encuentra ubicada en distintos sectores entre los municipios de Guayata, Somondoco, Guateque y Sutatenza a lo largo de rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), constituida por lodolitas negras con intercalaciones frecuentes de biomicritas y de algunas arenitas y bioesparitas que resaltan en la morfología. Son superficies en declive, de morfología de regular a irregular definida por planos dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno, se presenta con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas.

Fotografía 21. Ladera Contrapendiente.

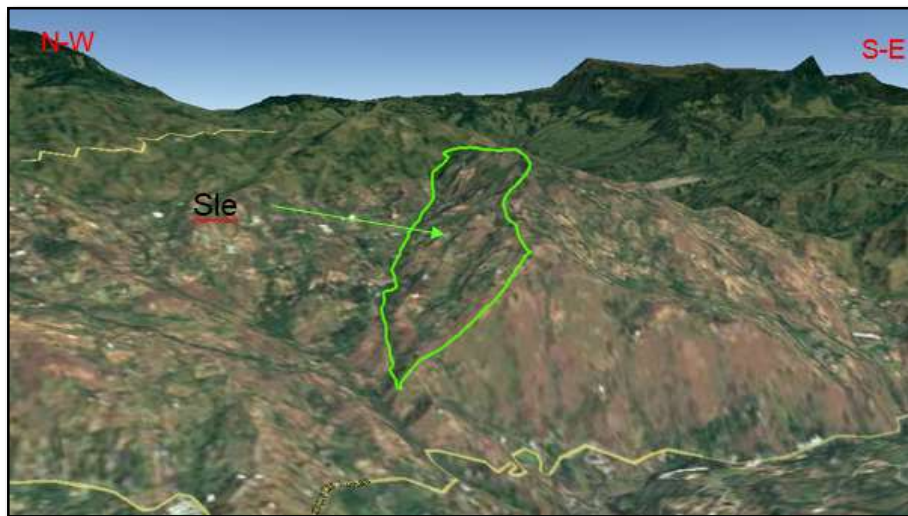


Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.6. Ladera Estructural (sle)

La geoforma se localiza en diferentes zonas de los municipios de Guayata, Guateque y Sutatenza sobre rocas cretácicas de la formación Fomeque (K1f), esta geoforma presenta una superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes paralelos al sentido de la inclinación del terreno. Se puede presentar con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas.

Figura 50. Ladera Estructural.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.7. Ladera de Contrapendiente de Sierra Anticlinal (Ssalc)

Esta geofoma se localiza en las veredas Salitre, Munanca y Ubayuca del municipio de Guateque, en las veredas san Carlos, Cubia y escaleras del municipio de Guayata, en las veredas bohorques, cucuavaca y resguardos del municipio de Guayata y el las veredas de pena verde y voqueron de chivor del municipio de macanal. Se presenta como una superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregularmente escalonada, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos didpuestos en contra de la pendiente del terreno, desarrollada en la ladera estructural de una estructura anticlinal debido a la acción de procesos de erosión.

Figura 51. Ladera de Contrapendiente de Sierra Anticlinal.

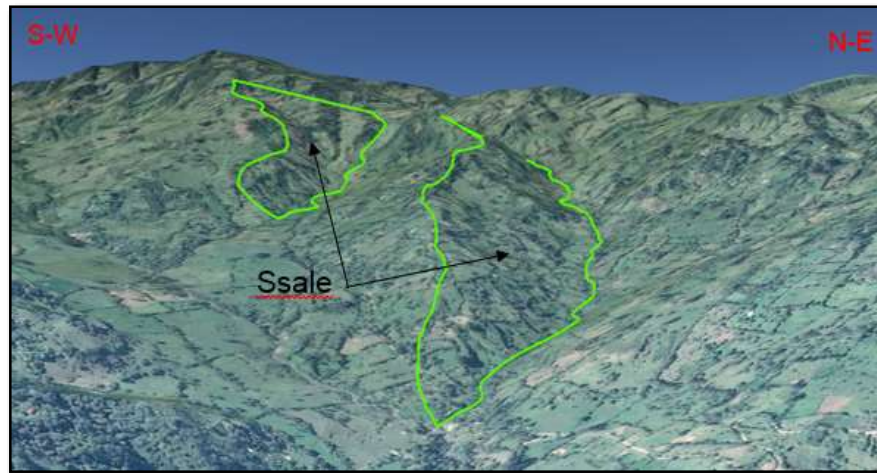


Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.8 Ladera Estructural de Sierra Anticlinal (Ssale)

La geofoma se localiza en distintas zonas del área de estudio y tomando una como referencia la que se ubica en la vereda molinos del municipio de Almeida litológicamente se encuentra sobre rocas cretácicas de la formación las juntas (K1j) compuesta por areniscas con intercalaciones de arcillolitas del miembro inferior denominado Almeida (K1ja). Presenta una superficie con estratos inclinados a favor de la pendiente, de longitud corta, forma convexa a recta y pendiente inclinada a muy abrupta, relacionada al flanco de una estructura anticlinal. Localmente los estratos se presentan con inclinaciones menores de la pendiente natural del terreno.

Figura 52. Ladera Estructural de Sierra Anticlinal.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.9 Sierra Anticlinal (Ssan)

La geoforma se presenta en la vereda centro del municipio de santa Maria y la vereda peña verde y peña blanca del municipio de Macanal estas se presentan en rocas del paleozoico de la formacion Grupo Farallones (Dcf), y en rocas cretácicas de la formacion Santa Rosa (K1sr), presenta una prominencia topografica elongada de morfología colinada a alomada de cimas o crestas agudas o redondeadas, limitadas por laderas estructurales inclinadas a muy abruptas, rectas o convexas de longitudes largas, el eje de esta estructura es formado por el arqueamiento de los estratos o capas que se inclinan de manera divergente.

Fotografía 22. Sierra Anticlinal.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.10 Ladera de Contrapendiente de Sierra homoclinal (Sshlc)

La geoforma se ubica principalmente en rocas cretácicas de la formación las juntas (K1j) entre los municipios de Almeida y Macanal, esta geoforma presenta una superficie vertical a subvertical moderada alarga, de forma cóncava, escalonada, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una estructura homoclinal.

Fotografía 23. Ladera de Contrapendiente de Sierra homoclinal.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.11 Ladera Estructural de Sierra homoclinal (Sshle)

Esta geoforma se aparece en rocas cretácicas entre las formaciones de Fomeque (K1f) y las juntas (K1j), se toma como referencia la geoforma encontrada en la vereda los Pantanos del municipio de Macanal, esta presenta una superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente, de longitud corta a moderadamente larga, formas rectas a convexas y pendientes escarpadas a muy escarpadas, relacionada a una estructura homoclinal.

Fotografía 24. Ladera Estructural de Sierra homoclinal.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.12 Sierra y lomo de Presión (Sslp)

La geoforma se localiza en la vereda San Sebastián del municipio de Somondoco sobre rocas cretácicas de la formación las juntas (K1j) que esta constituida por areniscas del miembro inferior (K1ja) y presenta algunas intercalaciones de Lutitas, de prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas comprensivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso.

Figura 53. Sierra y lomo de Presión.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.13 Sierra sinclinal (Sss)

La geoforma está localizada en la vereda Guali y la vereda Comoyo del municipio de Chivor, se encuentra sobre rocas de edad cretácicas de la formación Santa Rosa (K1sr), constituida por conglomerados intercalados con arenitas muy finas en la base; también presenta estratos de lodolitas negras micáceas alternando con arcillolitas gris oscuras laminadas y limolitas fosilíferas. Se destaca por una prominencia topográfica de morfología colinada, amplia en forma de artesa elevada formada en el eje de un sinclinal, limitada por laderas de contrapendiente.

Fotografía 25. Sierra sinclinal.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.14 Ladera de contrapendiente de Sierra Sinclinal (Ssslc)

Esta geoforma localizada en la vereda el Retiro del municipio de Chivor (K1ch). Presenta una superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregular escalonada, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada al flanco de una estructura sinclinal.

Figura 54. Ladera de contrapendiente de Sierra Sinclinal.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google earth.

3.3.4.15 Ladera Estructural de Sierra Sinclinal (Sssle)

Esta geoforma localizada en la vereda el Retiro del municipio de Chivor (K1ch) Presenta una superficie definida por estratos inclinados a favor de la pendiente, de longitud corta a moderadamente larga, forma cóncava y pendientes inclinadas a abruptas, relacionada al flanco de una estructura sinclinal.

Figura 55. Ladera Estructural de Sierra Sinclinal.



Fuente: Proyecto de investigación UPTC, Google.

4. INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

Se define como movimiento en masa al desplazamiento de material ya sea, suelo, roca o cobertura vegetal, ladera abajo por acción de la fuerza de gravedad, existen factores detonantes que hacen que el terreno se desestabilice, Entre las causas o detonantes más comunes para que se genere un proceso de movimiento en masa se encuentran; Los procesos litológicos, donde se presentan materiales con baja cohesión o poco consolidados; Procesos topográficos, zonas con pendientes muy pronunciadas donde se supera el ángulo de reposo de un material; Procesos climáticos, cuando existen precipitaciones frecuentes o un régimen de lluvias elevado; Procesos tectónicos, cuando intervienen las ondas sísmicas en los movimientos del terreno; y finalmente los procesos antrópicos, que se refieren a la acción del hombre sobre el medio ambiente, por ejemplo, generando deforestación en una zona de ladera o incendios forestales que desestabilicen una pendiente.³⁹

Para la realización de los inventarios de movimientos en masa se contó con varias etapas, siendo la primera la identificación de movimientos de gran magnitud a través de imágenes satelitales y fotografías aéreas, también se investigó en las bases de datos disponibles los registros históricos de movimientos en masa a fin de delimitar áreas de mayor importancia, en donde hubiese movimientos activos. Se realizaron salidas de campo en las que se realizaron visitas a los movimientos en masa interpretados en inventariados en las bases de datos y se incorporaron también deslizamientos vistos durante el recorrido.

³⁹ <http://ceelat.org/mapas/amenaza-por-remocion-en-masa-en-colombia/>

4.1 FORMULARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

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 específica. Sin embargo, las características a registrar en el inventario dependen del interés para el cual este se realice y hasta el momento no se cuenta con un esquema unificado del mismo, a pesar de varias propuestas realizadas en este sentido como es por ejemplo la del Grupo de Trabajo para el Inventario Mundial de Deslizamientos (WP/WLI, 1991). De ahí que considerando los objetivos del Proyecto Multinacional Andino PMA-GCA, el Grupo de Estándares para Movimientos en Masa GEMMA, proponga el formulario para inventario.⁴⁰

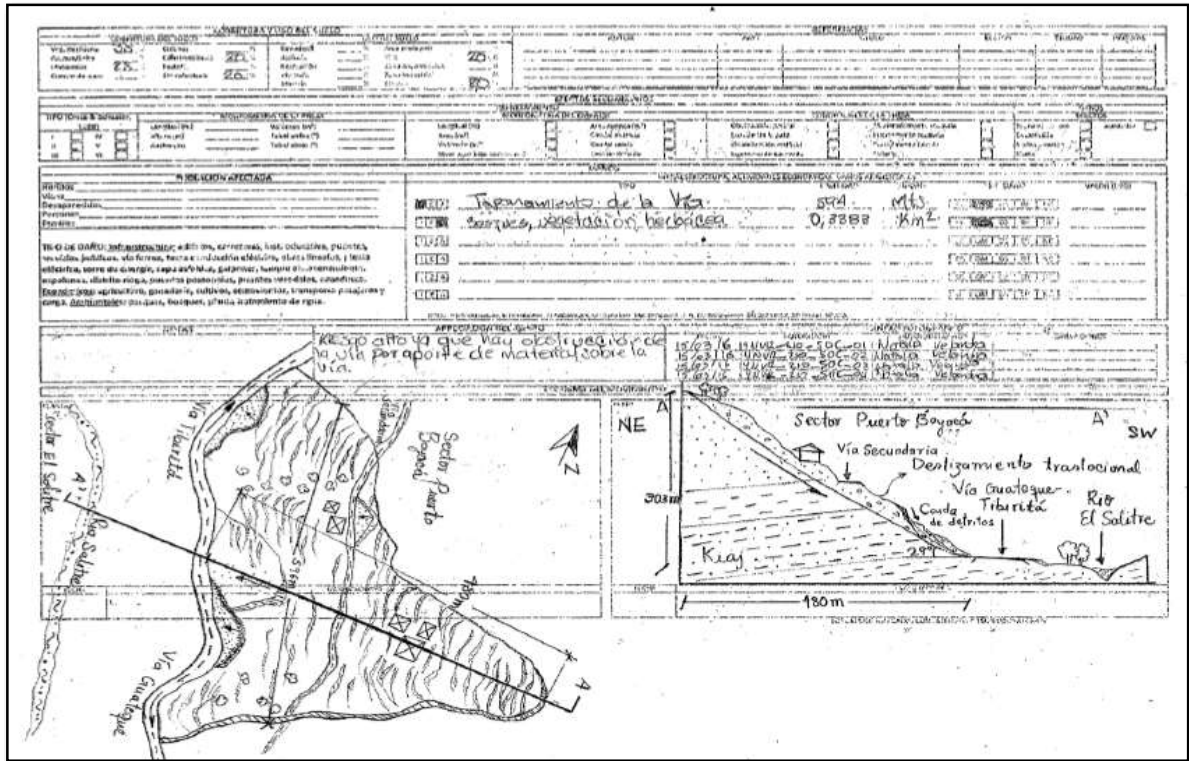
Para la realización del inventario de los movimientos en masa se utilizó en formato PMA-GCA, ya que contempla los parámetros básicos para el análisis de un movimiento en masa. El contenido del Formato se divide en los siguientes ITEMS:

- Localización geográfica y documental del evento.
- Actividad del movimiento.
- Litología y estratigrafía.
- Clasificación del movimiento.
- Morfometría.
- Causas del movimiento.
- Cobertura y uso del suelo.
- Documentos de referencia.
- Efectos secundarios.
- Importancia del evento.
- Daños.
- Notas y apreciación del riesgo.
- Esquema.
- Registro fotográfico.

Los mapas fueron diligenciados en campo y posteriormente se digitalizaban con el fin de realizar el registro. La figura 34 muestra ejemplos de los formatos PMA-GCA para campo.

⁴⁰ *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas (SGC).*

Figura 58. Formato PMA-GCA para movimientos en masa punto 55



Fuente. Grupo Investigación UPTC

Fotografía 27. Registro Fotográfico de movimiento en masa



Fuente. Grupo Investigación UPTC

Para el área de estudio se determinaron 33 movimientos en masa, de acuerdo a la escala de salida del mapa (1:25.000). La tabla 15 muestra las coordenadas de los sitios de localización de cada movimiento.

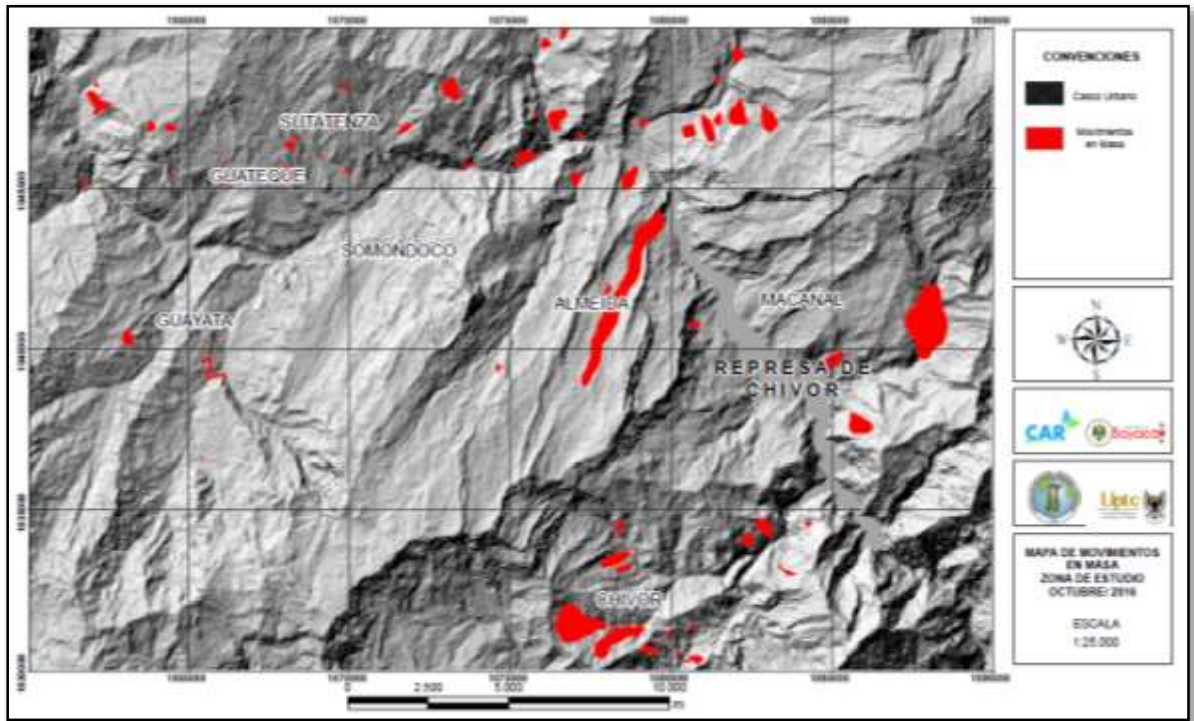
Tabla 15. Coordenadas de movimientos en masa

CODIGO	ESTE	NORTE	ALTURA	PLANCHA-25000
YNVR_210_049_C	1062118	1048336	1607	210-III-C
YNVR_210_050_C	1061882	1047895	1577	210-III-C
YNVR_210_053_C	1061460	1047507	1504	210-III-C
YNVR_210_054_C	1070378	1048358	2111	210-III-C
YNVR_210_057_C	1074280	1047331	1793	210-III-C
YNVR_210_063_C	1061717	1045139	1495	210-III-C
YNVR_210_064_C	1061751	1044938	1480	210-III-C
YNVR_210_065_C	1063113	1040323	1916	210-III-C
YNVR_210_086_C	1065111	1042786	1414	210-III-C
YNVR_210_087_C	1072036	1044205	1543	210-III-C
YNVR_210_088_C	1072319	1043174	1755	210-III-C
YNVR_210_091_C	1071725	1042981	1726	210-III-C
YNVR_210_026_C	1087608	1042911	2093	210-III-D
YNVR_210_027_C	1089332	1040906	1966	210-III-D
YNVR_210_032_C	1083751	1041928	1633	210-III-D
YNVR_210_034_C	1082729	1044669	1892	210-III-D
YNVR_210_035_C	1082233	1044651	1911	210-III-D
YNVR_210_100_C	1079590	1042675	1530	210-III-D
YNVR_210_101_C	1077749	1042035	1813	210-III-D
YNVR_210_103_C	1077976	1042748	1800	210-III-D
YNVR_210_104_C	1078009	1041802	1852	210-III-D
YNVR_210_105_C	1078425	1041877	1833	210-III-D
YNVR_229_067_C	1065420	1036558	1812	210-I-A
YNVR_229_069_C	1067129	1036105	2255	229-I-A
YNVR_229_078_C	1065788	1039164	1563	229-I-A
YNVR_229_090_C	1065352	1039859	1680	229-I-A
YNVR_229_093_C	1074585	1039348	2113	229-I-A
YNVR_229_002_C	1089290	1032085	1050	229-I-B
YNVR_229_016_C	1080706	1031307	1674	229-I-B
YNVR_229_018_C	1075528	1032185	2156	229-I-B
YNVR_229_019_C	1077370	1035150	2004	229-I-B
YNVR_229_022_C	1081388,28	1030463,87	1777	229-I-B
YNVR_229_023_C	1080513	1030271	1500	229-I-B

Fuente. Grupo Investigación UPTC

El figura 36 muestra el mapa de localizacion de los movimientos en masa cartografiados en el area de estudio.

Figura 59. Localización de los movimientos en masa



Fuente. Grupo Investigación UPTC, Autor

5. CALIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

Para esta tarea se aplicó el análisis espacial mediante un SIG, donde el núcleo esencial es el análisis simultáneo de las características temáticas y de la componente espacial de los objetos geográficos (Bosque *et al.*, 1994) y la evaluación multicriterio (EMC) a través del Proceso analítico jerárquico AHP. Así, la integración de estos dos elementos (SIG y EMC) facilitó llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático (Gómez y Barredo, 2005).

Las áreas de susceptibilidad son representadas en el mapa definitivo de acuerdo a la opinión de expertos, mediante una clasificación cualitativa: Muy baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta susceptibilidad y algunas consideraciones relacionadas con la expectativa de deslizamiento (Castellanos y Van Westen, 2001).⁴¹

A continuación se presenta el análisis y el resultado de la calificación de la susceptibilidad de los diferentes componentes para la elaboración del mapa de susceptibilidad final.

5.1 SUCEPTIBILIDAD GEOLÓGICA

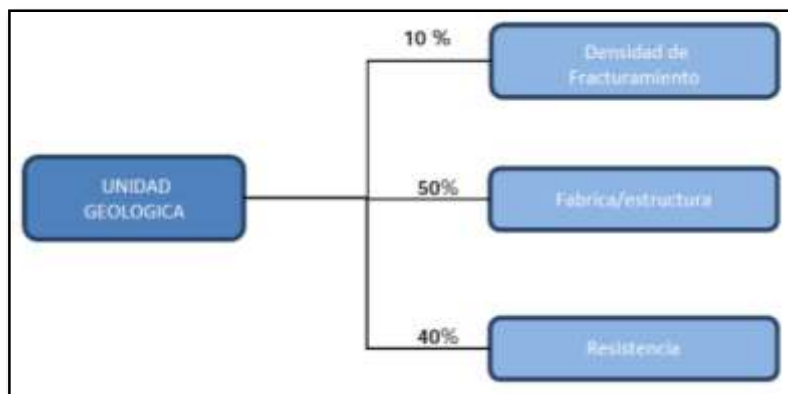
La textura o fabrica tiene gran influencia en el comportamiento de las rocas, es la relación de forma y tamaño de los componentes de una roca, y de la manera en que se encuentran en contacto entre sí, en especial en lo referente a la anisotropía, que se genera debido a la orientación de las partículas; la cual así mismo es la que gobierna las propiedades geomecánicas de la roca. Estas propiedades, la resistencia y deformabilidad, que resultan de la composición química y mineralógica de las rocas, de su textura y de su estructura; en especial la resistencia que determina la competencia.⁴²

En la siguiente figura se presenta la calificación que se asigna a las unidades geológicas con sus respectivos porcentajes.

⁴¹ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000.

⁴² Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000.

Figura 60. Diagrama de variables de la unidad temática geología, y sus porcentajes.

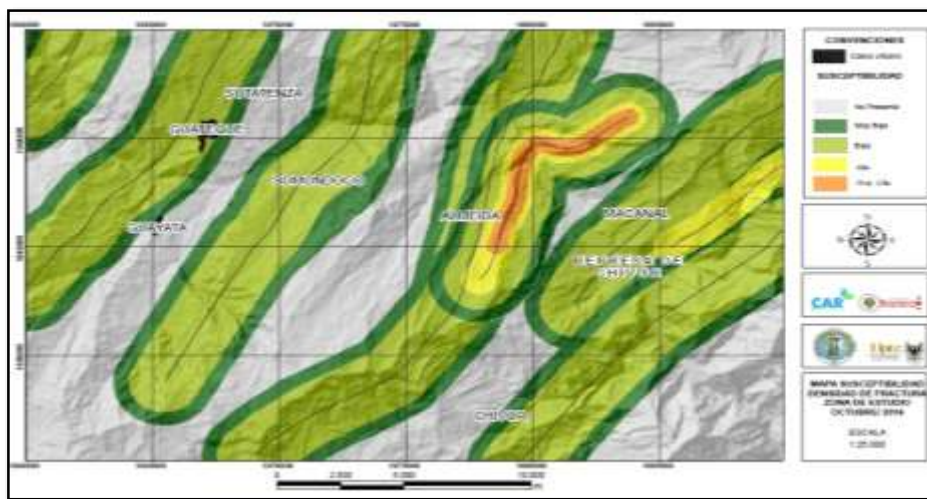


Fuente. Documento metodológico Servicio Geológico Colombiano.

5.1.1 Densidad de Fracturamiento

La variable densidad de fracturamiento se generó a partir de las fallas calificadas del proyecto “Zonificación de la Amenaza por Movimientos en Masa escala 1:500.000”. La información original se tomó de las estructuras contenidas en el mapa geológico de Colombia (MGC, 2007) escala 1:500.000, la cual incluye el trazado de las fallas y lineamientos estructurales, así como los ejes de los pliegues mayores más persistentes que afectan las rocas.⁴³

Figura 61. Mapa de Susceptibilidad de Densidad de Fracturamiento.



Fuente. Autor

⁴³ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000.

Para la generación del mapa de susceptibilidad de densidad de fracturamiento se realizó una adaptación a la escala 1:25000 en el área de estudio, en el área de estudio se observan zonas con una susceptibilidad desde muy baja a baja concentradas en las zonas de plegamiento y concentrándose el valor de susceptibilidad más alto en la zona de convergencia de plegamiento y de fallamiento.

5.1.2 Fabrica/ Estructura

La fábrica tiene gran influencia en el comportamiento de los suelos y rocas, en especial en lo referente a la anisotropía que genera debido a la orientación de las partículas, la cual así mismo gobierna anisotropía en las propiedades geomecánicas, la clasificación de las rocas según su fábrica/estructura, puede servir para establecer diferencias de las rocas en cuanto a su resistencia y direccionalidad de las propiedades mecánicas, a continuación las características generales según el tipo de fabrica y la calificación propuesta para las rocas según Textura/Fabrica.⁴⁴

Tabla 16. Textura/fabrica de las rocas (Tomado INGEOMINAS (2004)

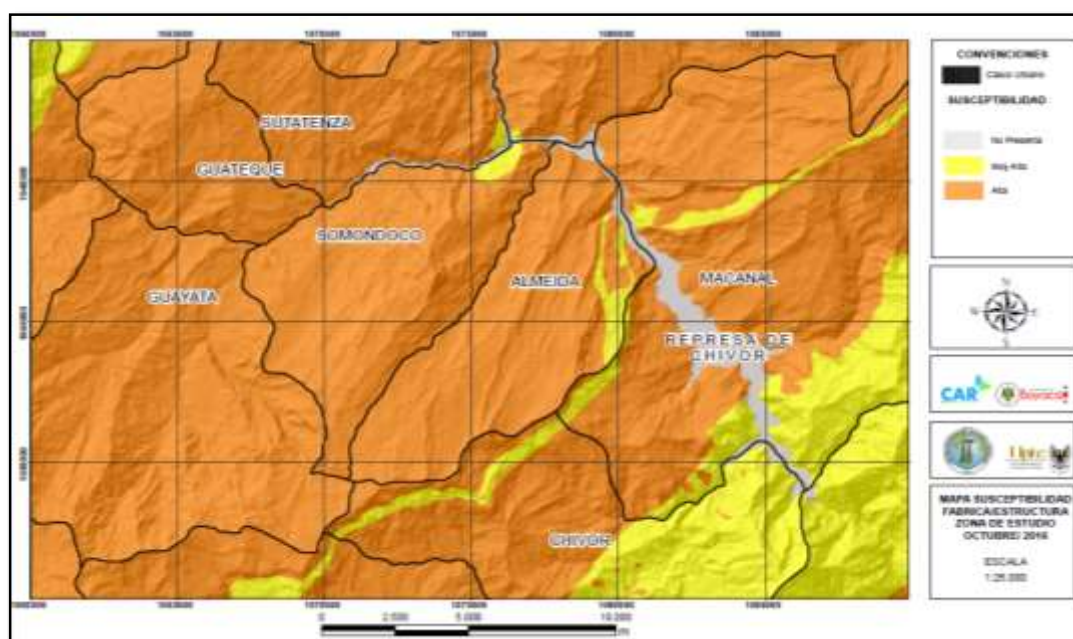
Textura/Fábrica	Características
Cristalina Masiva	En rocas de cualquier origen (ígneo, metamórfico o sedimentario) cuyas partículas minerales están entrelazadas y con orientación aleatoria. Corresponde a las rocas más resistentes y menos deformables, salvo las rocas volcánicas cuya calidad es un poco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

⁴⁴ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000.

Tabla 17. Calificación propuesta tipo de fabrica. Tomado INGEOMINAS ()2009

Fabrica/Estructura		
Atributo	Formación	Propuesta de calificación
N/A	Embalse	0
Cristalina Masiva	--	1
Cristalinas Bandeadas	--	2
Clásticas Cementadas	Dcf	3
Clásticas Cementadas	K1K2U2	3
Clásticas Cementadas	K1K2U1	3
Clásticas Cementadas	K1sr	3
Clásticas Cementadas	K1ji	3
Clásticas Consolidadas	K1m	4
Clásticas Consolidadas	K1ja	4
Clásticas Consolidadas	K1f	4
Clásticas Consolidadas	K1ch	4
Clásticas Consolidadas	K1b	4
Clásticas Consolidadas	Qco	4
Clásticas Consolidadas	Qab	4
Clásticas Consolidadas	Qal	4
Cristalina Foliada y Rocas de falla	--	5

Figura 62. Mapa de susceptibilidad por Fábrica y Estructura.



Fuente. Autor

En el mapa de susceptibilidad de Fabrica/Estructura encontramos los valores más bajos hacia el S-E del área de estudio debido a la presencia de rocas muy compactas como lo son las del Grupo Farallones y la franja que se extiende desde el S-W hacia el N-E correspondiente a las areniscas de las juntas el restante del área de estudio presenta un grado de susceptibilidad muy alta a causa del mayor grado de meteorización que presentan las rocas.

5.1.3 resistencia

Tomando como base las planchas escala 1:100.000 generadas por el Servicio Geológico Colombiano, se enlistan los diferentes tipos de rocas que afloran en el área de estudio y se le empiezan a asignar rangos de resistencia basados en la tabla 18, si en esta listado existen rocas que no presentan rangos de resistencia, se hace necesario hacer una revisión bibliográfica en lo que respecta a ensayos de compresión simple realizadas en rocas de la zona o si en su defecto no existe, se debe de recurrir a la bibliografía a nivel internacional.⁴⁵

En la siguiente tabla se muestra la propuesta de calificación de las rocas del servicio geológico colombiano.

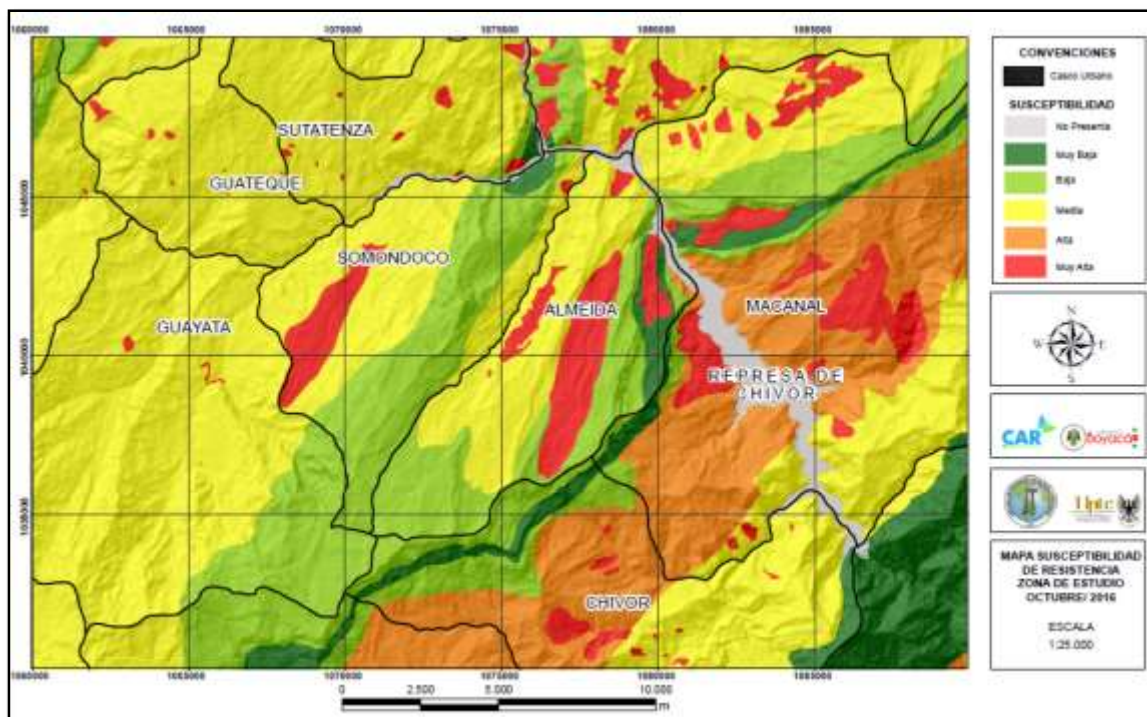
Tabla 18. Propuesta de calificación de las rocas.

TERMINO	FORMACIÓN	PROPUESTA DE CALIFICACION
Extremadamente Dura	--	1
Muy Dura	Dcf	1
Muy Dura	K1K2U2	1
Dura	K1K2u1	2
Dura	K1ja	2
Moderadamente Dura	K1sr	3
Moderadamente Dura	K1f	3
Blanda	K1m	4
Blanda	K1ch	4
Blanda	K1b	4
Muy Blanda	Qco	5
	Qab	5
	Qal	5
Extremadamente Blanda	--	5

Fuente. Documento metodológico Servicio Geológico Colombiano

⁴⁵. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000.

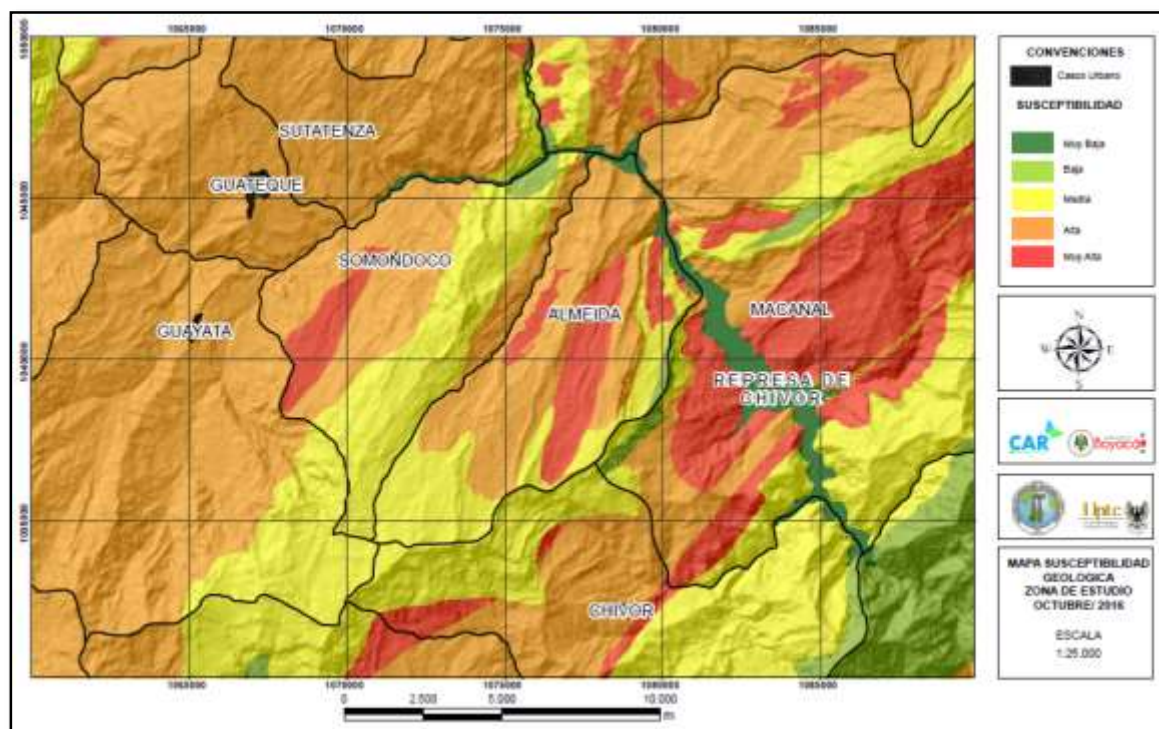
Figura 63. Mapa de Susceptibilidad de Resistencia.



Fuente. Autor

En el área de estudio se encuentra gran variedad en el grado de susceptibilidad resaltando como la más alta la geología asociada a los depósitos inconsolidados y disminuyendo en las unidades que presenten una mayor consistencia y por dicha razón son más resistentes a estos eventos y procesos erosivos, rocas como la formación Grupo Farallones o las Areniscas de las Juntas son las que presentan el grado de susceptibilidad mas bajo debido a que presentan el grado de consolidación mas alto, y las rocas de la formación Fomeque y Lutitas de macanal presentan un medio y alto grado de susceptibilidad esto en causa al bajo grado de consistencia de estas rocas.

Figura 64. Mapa de susceptibilidad Geológico.



Fuente. Autor

Una vez realizado el cruce temático de las capas que componen el parámetro geológico, densidad de fracturamiento (10%), fabrica/estructura (50%) y resistencia (40%), se obtiene el mapa de susceptibilidad geológico en el cual hay predominio de los valores de susceptibilidad desde media, alto a muy alto y valores de menos influencia hacia la zona del embalse d Chivor y la esquina S-E del área de estudio hacia el municipio de santa maria, hacia los municipios de Chivor, Macanal y Almeida se presenta el mayor grado de susceptibilidad indicado en tono rojizo en la figura (64).

5.2 SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLÓGICA

La geomorfología como función representativa de la dinámica actual del relieve y que define los criterios de agrupación y clasificación de las geoformas, involucra además información pertinente a la naturaleza y comportamiento de los materiales constituyentes de dicha geoforma y de los materiales de cobertera.

Las preferencias de las variables elegidas: morfometría, morfogénesis y morfodinámica, se establece en los requerimientos de información geométrica,

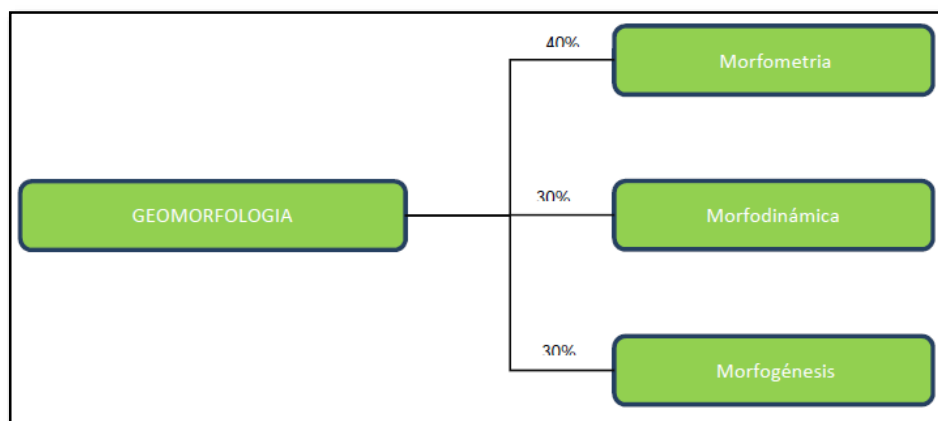
condiciones heredadas y la tendencia actual de las unidades morfológicas a generar movimientos en masa.⁴⁶

Dentro de los valores de preferencia de las variables morfológicas se establece que la variable morfometría tiene una preferencia igual a moderada respecto a las variables morfogénesis y morfodinámica; la ventaja de esta variable sobre las demás se justifica en que la variable morfométrica además de definir las relaciones espaciales relativas de la unidad morfológica, incluye aspectos morfográficos en su valoración (caracterización geométrica de las geoformas).

Por otra parte, dentro de la estructuración de la variable morfometría se consideran las variables en el cuarto orden de jerarquía: Rugosidad, Acuencia y Pendiente. La variable pendiente que representa el ángulo de inclinación de las laderas, involucra los efectos de la gravedad terrestre y los agentes meteóricos que determinan el desarrollo de movimientos en masa, además de proporcionar información acerca de la geometría de la geoforma, tipo de material que las conforman y condiciones de estabilidad de la misma. Por esta razón la variable pendiente es considerada como parámetro fundamental en la caracterización de las geoformas, generando mayor importancia respecto a las demás variables geométricas, incluso considerándose también como atributo temático.⁴⁷

Para la evaluación de la susceptibilidad geomorfológica se evalúan tres parámetros los cuales representan un porcentaje de importancia los cuales son Morfodinámica (30%), morfogénesis (30%) y morfometria (40), la suma de la susceptibilidad de cada uno de estos componentes nos da como resultado la susceptibilidad geomorfológica por fenómenos de remoción en masa, en la figura (65) se presenta el diagrama de atributos de la variable geomorfológica.

Figura 65. Diagrama de atributos dentro de la variable geomorfología y porcentajes.



Fuente. Documento metodológico Servicio Geológico Colombiano.

⁴⁶ . Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000.

⁴⁷ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100000.

5.2.1. MORFODINÁMICA.

La variable morfodinámica tiene la misma preferencia de la variable morfogénesis, aunque menor a moderada respecto a la variable morfometría; sin embargo la preferencia de esta variable se establece en dos sentidos: Por una parte, la morfodinámica representa los movimientos en masa activos, inactivos o reactivados que han sido registrados en un catálogo y/o inventario de movimientos en masa y que constituyen una primera aproximación a una zonificación de zonas inestables por densidad y tipo de eventos. En otro sentido, la variable morfodinámica permite comparar las unidades morfológicas en cuanto a su susceptibilidad por movimientos en masa, y hacer una calibración de los resultados obtenidos en dicha zonificación con los movimientos en masa ocurridos. En las tablas 39 y 40 se presentan las preferencias de los atributos de la variable geomorfología.⁴⁸

5.2.1.1. Relación inclinación Relieve (RelaIncli)

El modelo de relieve **RelaIncli** seleccionado se muestra en la función, el cual permite que sobre la zonas de relieve relativo se caracterizan grados de inclinaciones de ladera.⁴⁹

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

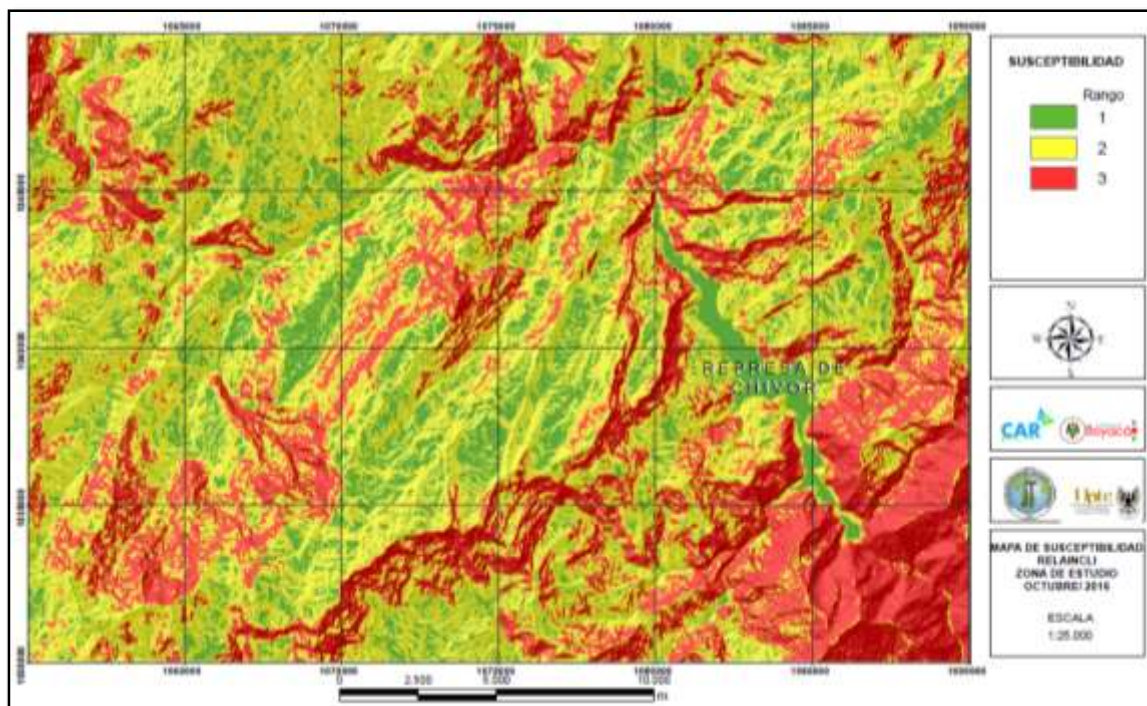
Los límites de calificación de este modelo de relieve se determinan sobre la base que es en este en donde se colocaran los elementos geomorfológicos más susceptibles, como son los suelos transportados y los procesos derivados del inventario.⁵⁰

⁴⁸ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100000.

⁴⁹ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100000.

⁵⁰ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100000.

Figura 66. Mapa de susceptibilidad temático relación inclinación (RELALNCLI).



Fuente. Autor

5.2.1.2 Susceptibilidad de unidades de suelos

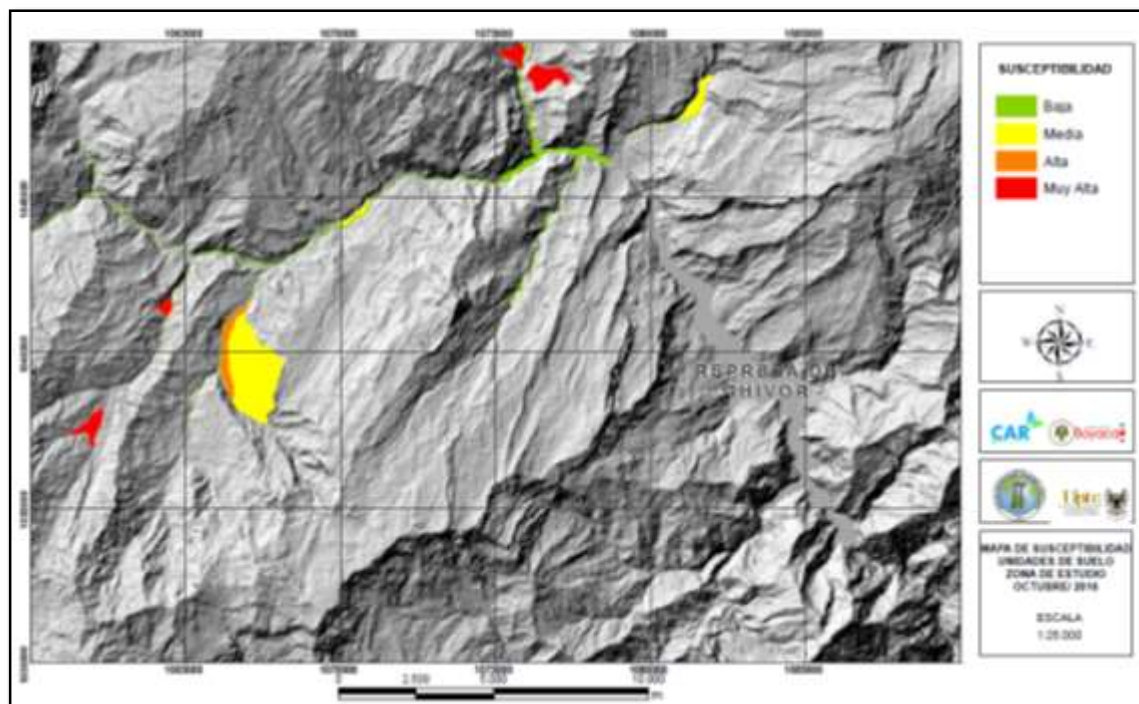
El grado de susceptibilidad mas alto esta asociado finalmente a zonas donde existen mayores prominencias topográficas, en el área de estudio las podemos encontrar hacia los lugares de afloramiento de rocas mas consistentes como el grupo farallones o las areniscas de las juntas, y las zonas de menor grado de susceptibilidad están asociadas a áreas de bajas prominencias topográficas.

Tabla 19. Calificación de la susceptibilidad a unidades de suelo.

CODIGO	AMBIENTE	GEOFORMA ASOCIADA	CALIFICACION
Dft	Denudacional	Cono o Lobulo de Flujo Indiferenciado	5
Dco	Denudacional	Cono y lobulo coluvial y de solifluxion	5
Ftee	Fluvial	Escarpe de Terraza de Erosión	4
Fte	Fluvial	terrazza de Erosión	3
Fca	Fluvial	Cauce aluvial	2

Fuente. Documento metodológico Servicio Geológico Colombiano.

Figura 67. Mapa de susceptibilidad de unidades de suelo.



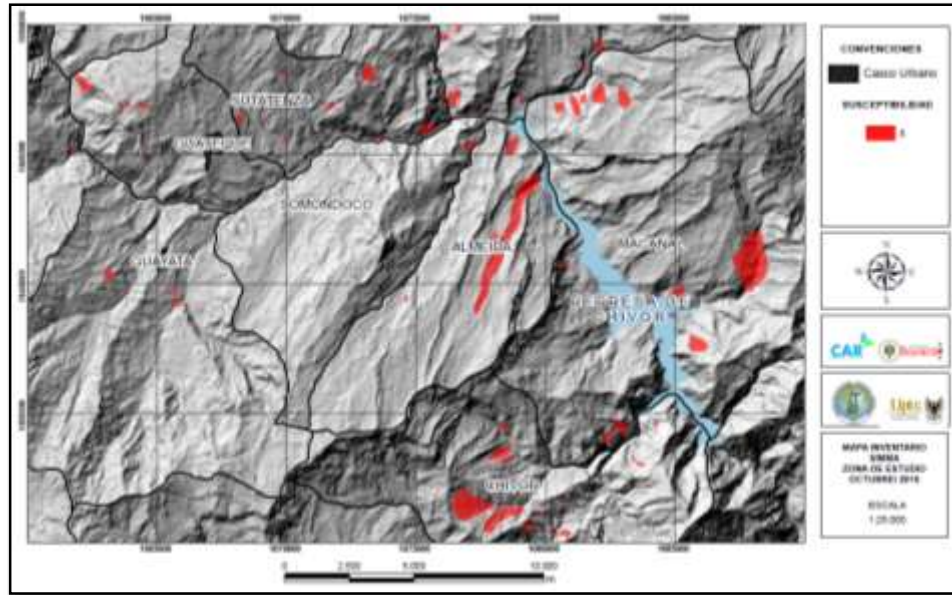
Fuente. Autor

Al tomar las unidades geomorfológicas asociadas a las unidades de suelo y realizar la calificación de la susceptibilidad se obtiene como resultado general una susceptibilidad muy baja en general en el área de estudio, con algunos remanentes de susceptibilidad media y alta en algunas zonas, las cuales están asociadas a áreas con alto grado de influencia de procesos erosivos.

5.2.1.3. Susceptibilidad de movimientos cartografiados

En la generación del inventario SIMMA se le asigna a estos movimientos el grado de susceptibilidad mas alto (5), y estos movimientos se les asigna la geoforma "Deslizamientos Indiferenciados" **Ddi**, a continuación en la figura (48) se presenta el mapa de susceptibilidad por inventario SIMMA.

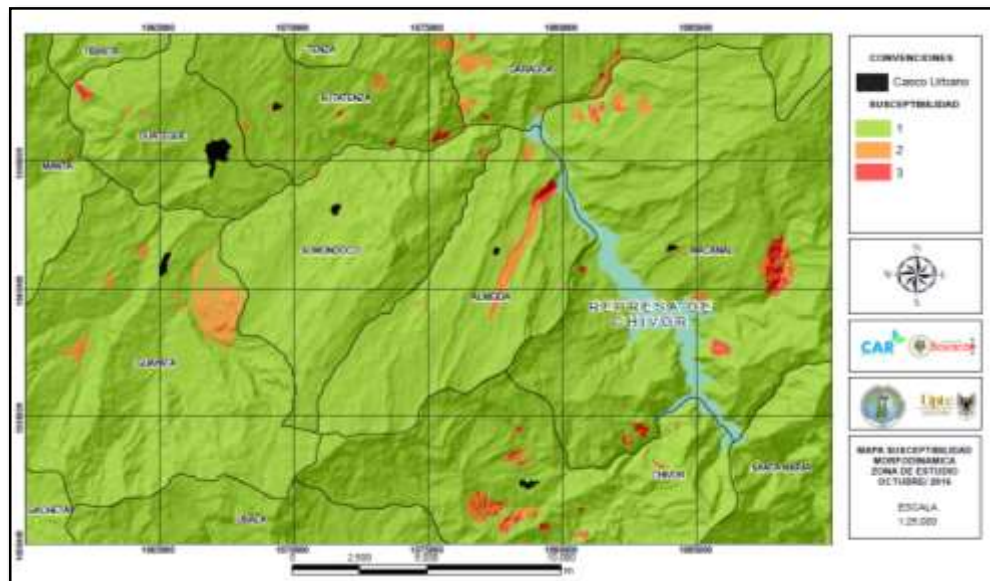
Figura 68. Mapa de susceptibilidad del inventario de movimientos cartografiados.



Fuente. Autor

En el mapa de susceptibilidad por movimientos se obtiene en un muy alto grado de susceptibilidad las zonas donde se presentan movimientos en masa de tono rojo en la figura (68) y el restante área de estudio, encontramos en un tono verde oscuro mostrándonos un grado de susceptibilidad muy bajo, esto asociado a áreas donde no se presentan movimientos en masa.

Figura 69. Mapa de susceptibilidad del componente morfodinámica.



Fuente. Autor

Una vez obtenido los tres componentes de susceptibilidad (RelaLncli, unidades de suelo e inventario SIMMA), se realiza un cruce de capas en el software Argis 10.2.2 con la herramienta RASTER CALCULATOR, donde los tres componentes tienen el mismo porcentaje valoración y se obtiene la susceptibilidad por Morfodinamica, donde la susceptibilidad alcanza el grado medio en algunos emanentes pero en general presenta una susceptibilidad muy baja por el componente morfodinamica.

5.3.1 MORFOGENESIS

Para la obtención de la susceptibilidad por morfogénesis se realiza una calificación de las geoformas, esta calificación se hace teniendo en cuenta el documento metodológico del servicio geológico, en la siguiente tabla se observa la calificación según el tipo de geoforma, con esta calificación se obtiene el mapa de susceptibilidad por morfogénesis.

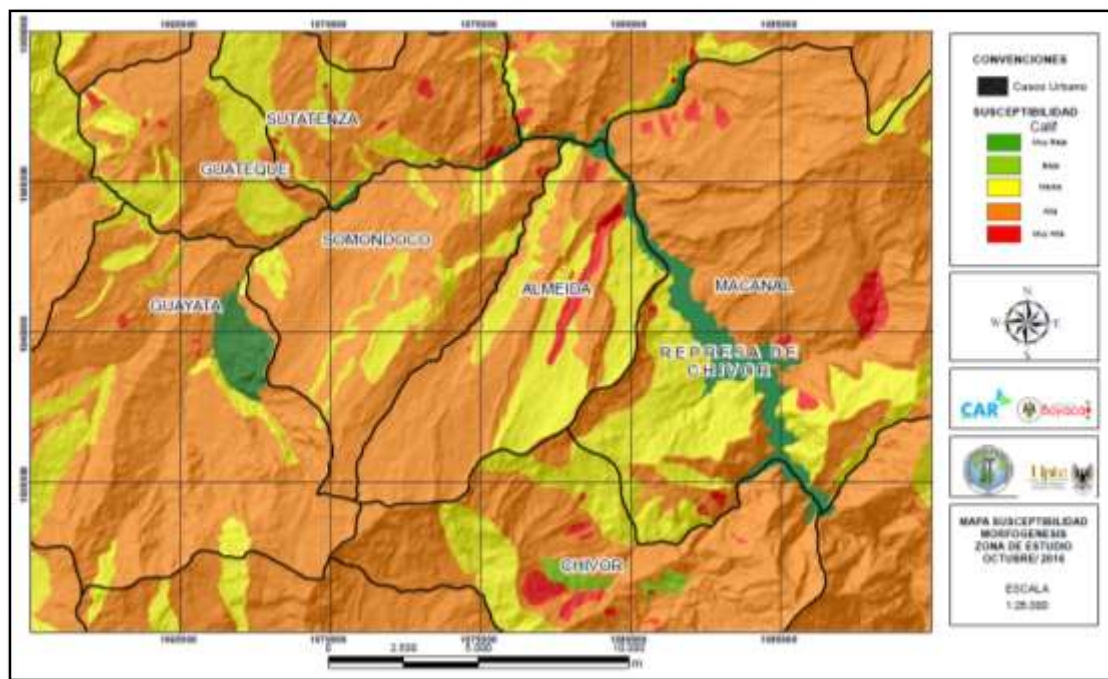
Tabla 20. Calificación de la susceptibilidad por morfogénesis.

CODIGO	AMBIENTE	GEOFORMA	CALIFI
Ddi	Denudacional	Cono de Deslizamiento Indiferenciado	5
Dco	Denudacional	Cono y lobulo coluvial y de solifluxion	4
Def	Denudacional	Escarpe Faceteado	4
Dft	Denudacional	Cono o Lobulo de Flujo Indiferenciado	4
Dga	Denudacional	Glasis de Acumulación	4
Dldeal	Denudacional	Lomo denudado alto de longitud larga	4
Dle	Denudacional	Ladera Erosiva	4
Dlres	Denudacional	Lomo Residual	4
Sesac	Estructural	Espolon alto de longitud corta	4
Sesam	Estructural	Espolon alto de longitud media	4
Slcp	Estructural	Ladera Contrapendiente	4
Sle	Estructural	Ladera Estructural	4
Ssale	Estructural	Ladera Estructural de Sierra Anticlinal	4
Ssan	Estructural	Sierra Anticlinal	4
Sshlc	Estructural	Ladera de Contrapendiente de Sierra Homoclinal	4
Sshle	Estructural	Ladera Estructural de Sierra Homoclinal	4
Sslp	Estructural	Sierra y Lomo de Presion	4
Sss	Estructural	Sierra Sinclinal	4
Ssslc	Estructural	Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal	4
Sssle	Estructural	Ladera Estructural de Sierra Sinclinal	4
Dc	Denudacional	Cima	3
Deem	Denudacional	Escarpe de Erosión Mayor	3
Deeme	Denudacional	Escarpe de Erosión menor	3

Dld	Denudacional	Loma Denudada	3
Dldebl	Denudacional	Lomo denudado bajo de longitud larga	3
Dlo	Denudacional	Ladera Ondulada	3
Dlor	Denudacional	Loma Residual	3
Dmo	Denudacional	Monticulo y onulaciones denudacionales	3
Sesmc	Estructural	Espolon moderado de longitud corta	3
Sft	Estructural	Faceta triangular	3
Ssalc	Estructural	Ladera de Contrapendiente de Sierra Anticinal	3
Dldebc	Denudacional	Lomo denudado bajo de longitud corta	2
Dldebm	Denudacional	Lomo denudado bajo de longitud media	2
Aemb	Antropogenico	Embalses	1
Fca	Fluvial	Cauce aluvial	1
Fte	Fluvial	terrazza de Erosión	1
Ftee	Fluvial	Escarpe de Terraza de Erosión	1

Fuente. Documento metodológico servicio geológico colombiano.

Figura 70. Mapa de susceptibilidad por morfogénesis.



Fuente. Autor

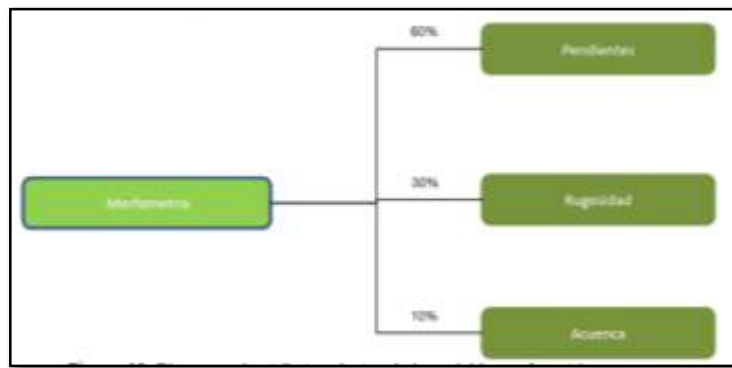
En la elaboración del mapa de susceptibilidad por morfogénesis se obtiene como resultado al realizar la calificación de las geformas un predominio de la susceptibilidad media a alta en el área de estudio esto debido a mayor presencia de

geoformas de ambiente estructural las cuales tienen la ponderación más alta, esto debido a la presencia de estructuras geológicas representativas (pliegues, fallas y fracturas), dado a que esta muy asociado a la presencia de movimientos en masa.

5.4.1 MORFOMETRIA

Trata de aspectos cuantitativos en términos de pendientes, Rugosidad y Acuencia. También se incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales. Para las variables de morfometria se empleó el modelo digital de elevaciones (DEM), el cual sirvió como insumo para la calificación de cada una de las unidades geomorfológicas, en la Figura (49) se muestran los atributos de la variable morfometria con sus respectivos porcentajes.

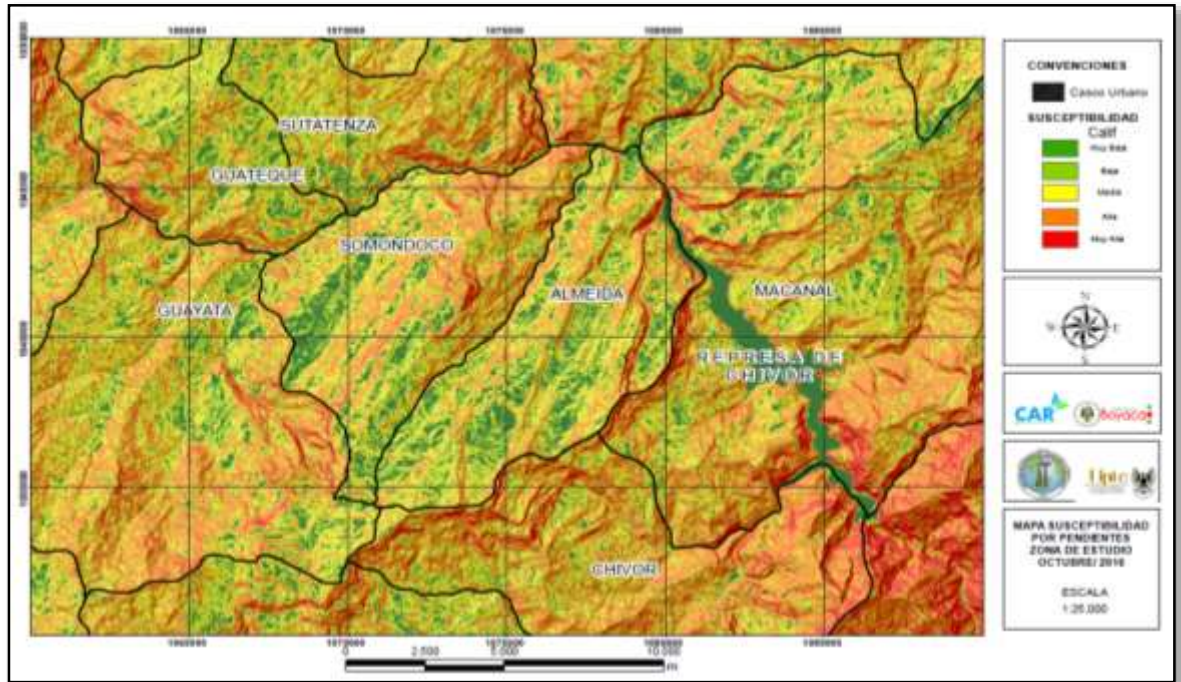
Figura 71. Atributos variable morfometria y porcentajes.



Fuente. Documento metodológico servicio geológico colombiano.

5.4.1.1 PENDIENTE

Figura 72. Mapa de susceptibilidad por pendiente.

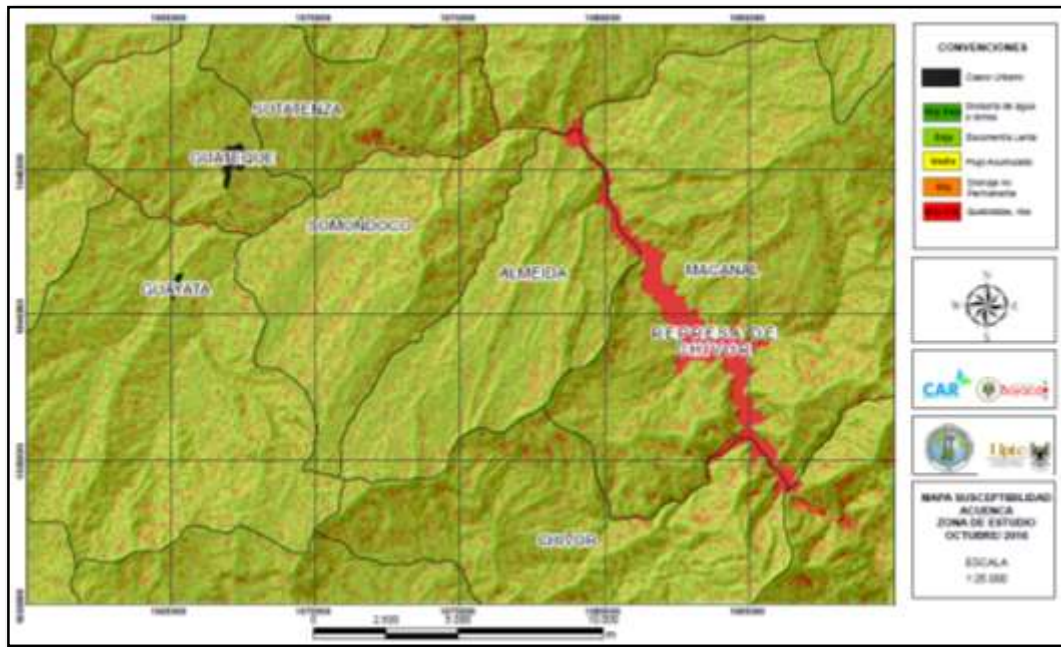


Fuente. Autor.

El área de estudio presenta en general una susceptibilidad de pendientes que va de media, alta a muy alta esto debido a que se presentan zonas de pendiente inclinada, abrupta a escarpada que presentan los índices de susceptibilidad más altos, por presencia de rocas más consistentes y compactas, las zonas asociadas a escarpes y prominencias topográficas se relacionan directamente a zonas de movimientos en masa, ya que con la variable pendiente se determina información vital de la geometría y de la geoforma.

5.4.1.2 ACUENCA

Figura 73. Mapa de susceptibilidad por acuenca.

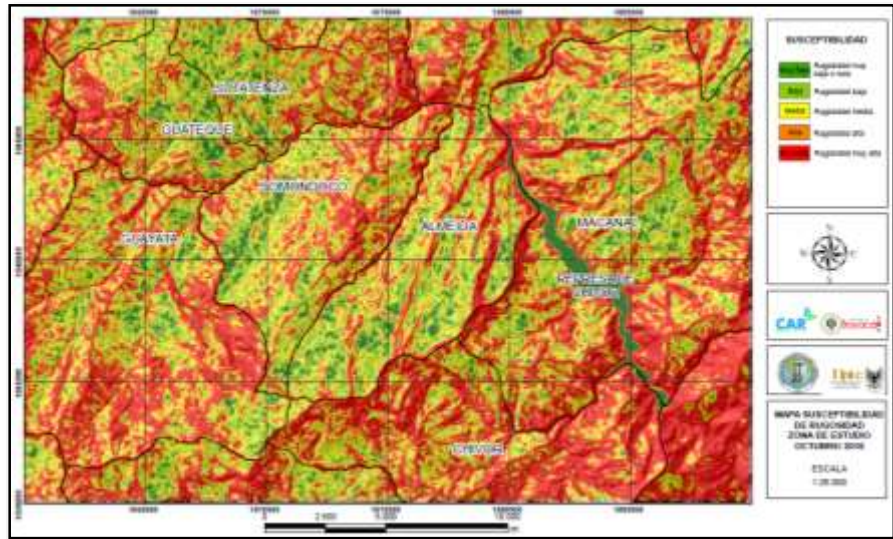


Fuente. Autor.

El mapa de susceptibilidad por acuenca nos arroja un calificativo de muy alto al sector de la represa de Chivor ya que este parámetro está relacionado con el área de captación e infiltración de agua en un terreno, y por ende si área presenta una zona de mayor superficie de captación esta estará mas propensa a desarrollar inestabilidad en el terreno, y con una tendencia de baja a media en el restante del área de estudio ya que son zonas de alto grado de importancia en la captación de agua.

5.4.1.3 RUGOSIDAD

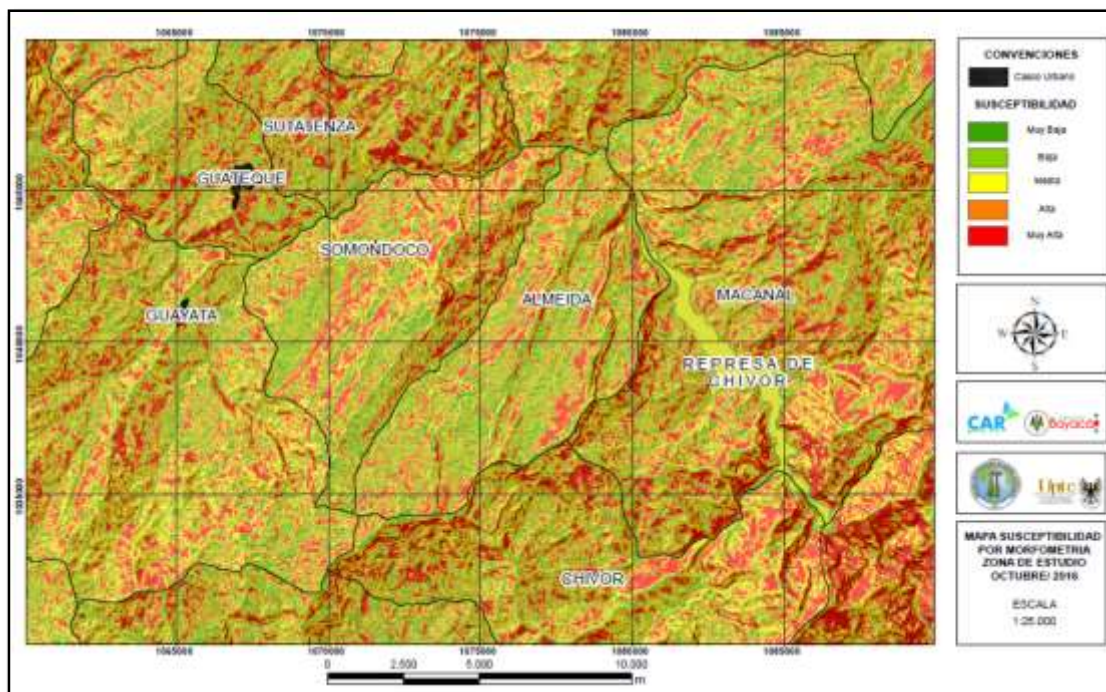
Figura 74. Mapa de susceptibilidad por rugosidad.



Fuente. Autor.

En el mapa de susceptibilidad por rugosidad se obtiene una tendencia alta a muy alta siendo esto muy congruente y representativo al componente de pendientes debido a la fuerte topografía del área de estudio, dando como resultado laderas de una alta rugosidad presentaran una tendencia a la generación de movimientos en masa esto en gran parte al cambio brusco y sucesivo de las pendientes que permiten un aumento en el grado de infiltración del terreno aumentando la inestabilidad de este, en la figura (53) se observa el mapa de susceptibilidad final por morfometría.

Figura 75. Susceptibilidad final por el componente de morfometría.



Fuente. Autor.

De las variables del componente geomorfológico esta es la de mayor relevancia ya que además de definir las relaciones espaciales incluye aspectos en la valoración morfográfica (caracterización geométrica de las geofomas).⁵¹

En el mapa de susceptibilidad por morfometría nos arrojó una tendencia media, alta a muy alta en el área de estudio presentando los mayores valores hacia la zona S-E del área de estudio, ya que toda el área de estudio presenta una topografía pronunciada y presenta en la rugosidad rangos altos, estos dos componentes imperan en la tendencia alta del grado de susceptibilidad en la morfometría.

⁵¹ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000

5.5 SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLÓGICA TOTAL

El mapa de susceptibilidad Geomorfológica se obtiene al realizar el cruce temático de los tres componentes (morfometría, morfogénesis y morfodinámica) que sumados obtenemos el mapa final por susceptibilidad geomorfológica en la tabla (21) se observa el área de influencia en Km² de cada uno de los grados de susceptibilidad y en la figura (76) se representa el porcentaje de dichas áreas, y en la figura (77) se representa el mapa de susceptibilidad geomorfológico final.

Tabla 21. Área correspondiente al grado de Susceptibilidad

Grado de Susceptibilidad	Area (Km ²)
1	49,24560416110
2	154,85408806000
3	189,94224631300
4	105,50845656100
5	100,46408592310
TOTAL	600,01448101820

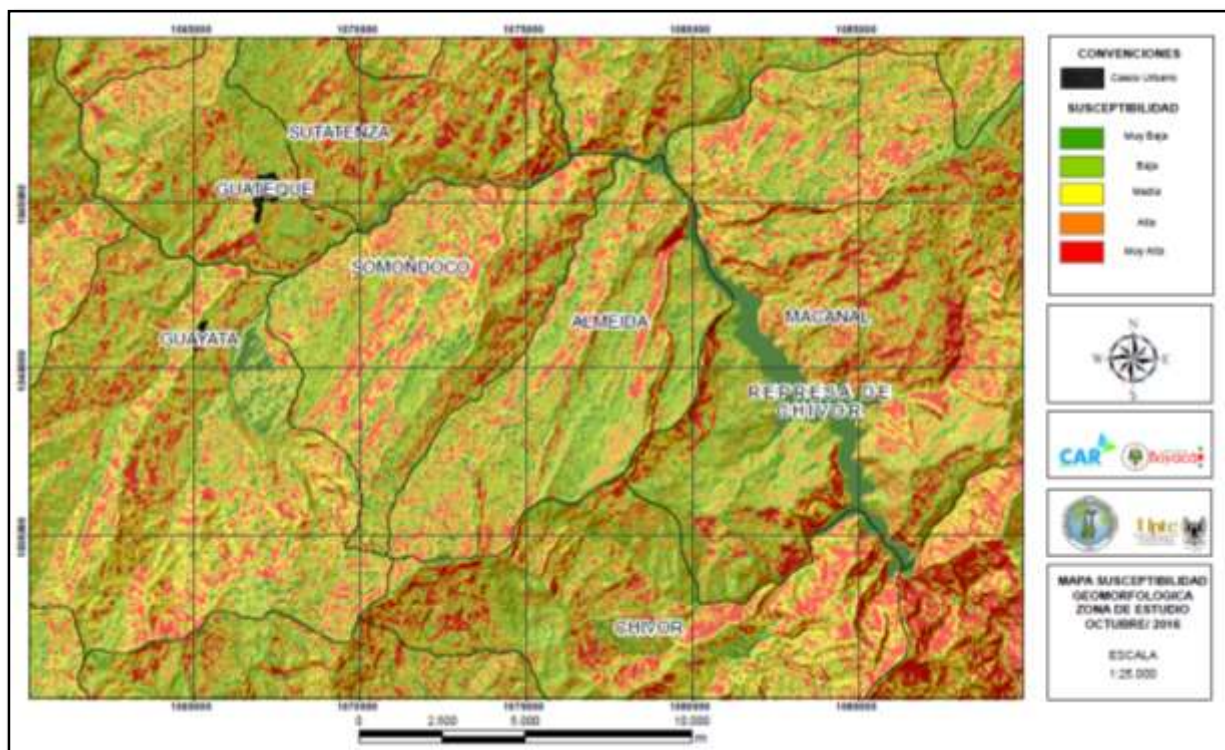
Fuente. Autor.

Figura 76. Diagrama de porcentaje del grado de Susceptibilidad



Fuente. Autor.

Figura 77. Susceptibilidad geomorfológica total



Fuente. Autor.

En la figura (77) se muestra el mapa de susceptibilidad geomorfológico final, en el cual la susceptibilidad muy baja se concentra en el área de influencia del embalse de Chivor, la susceptibilidad baja se presenta en zona de influencia de ambiente denudacional, la susceptibilidad media se presenta en zonas de concurrencia entre baja y alta a los largo y ancho del área de estudio, la susceptibilidad alta se presenta en un porcentaje considerable del (29%), y la susceptibilidad muy alta se concentra en zonas de presencia de ambiente estructural estas área de influencia se concentran en mayor proporción en los municipios de Sutatenza, Macanal, Almeida, Chivor y Santa María, en estas zonas fue donde se concentraron la mayor cantidad de movimientos en masa cartografiado en el trabajo de campo.

5.6 SUSCEPTIBILIDAD TOTAL

Para la obtención del mapa de susceptibilidad final se realiza un cruce temático de la geología (30%) y la geomorfología (70%) dando a esta última un porcentaje más alto ya que con estudio previos y teniendo como referente a la metodología del Servicio Geológico Colombiano, está relacionada más a ciertas geoformas típicas donde se presentan movimientos en masa (MM), en la tabla (22) se ilustra el área en (Km²) obtenida con respecto al grado de susceptibilidad, en la figura (78) se obtiene el área porcentual del grado de susceptibilidad en el área de estudio y en la figura (79) se muestra el mapa final de susceptibilidad aplicado a movimientos en masa.

Tabla 22. Área Correspondiente al grado de Susceptibilidad

Grado de Susceptibilidad	Area (Km²)
1	2,6
2	14,8
3	359,6
4	203,3
5	19,8
TOTAL	600,0

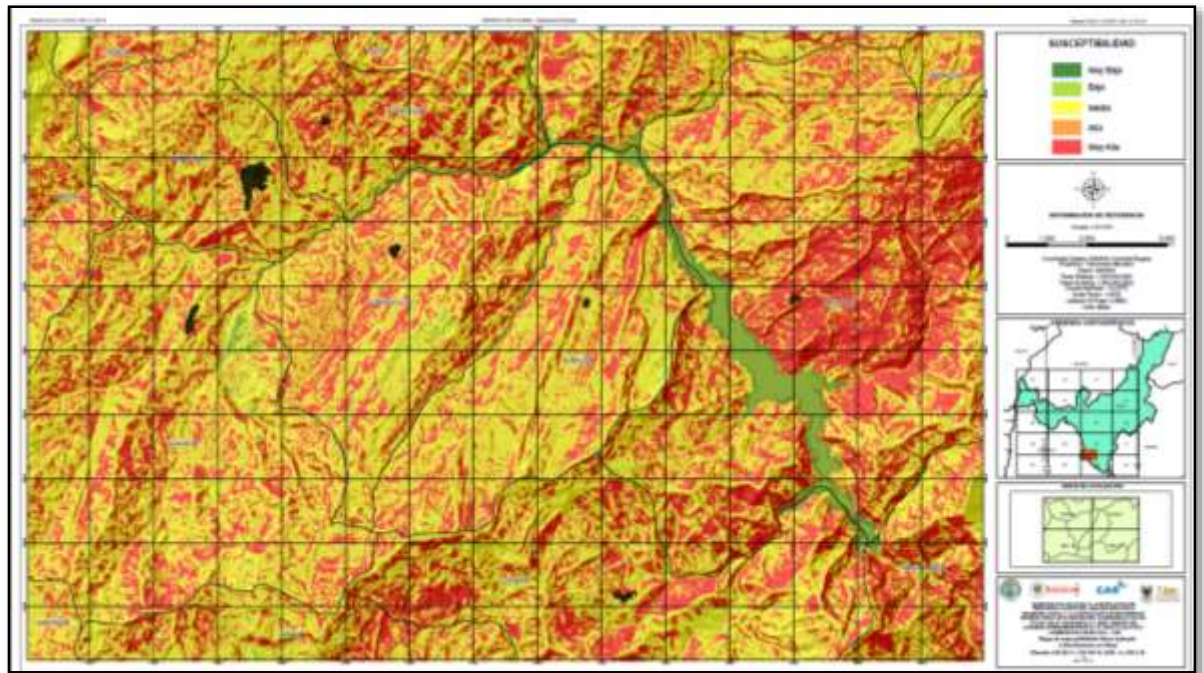
Fuente. Autor.

Figura 78. Diagrama de porcentaje del grado de Susceptibilidad



Fuente. Autor

Figura 79. Mapa de susceptibilidad final.



Fuente. Autor.

El mapa final nos arroja (5) rangos de susceptibilidad muy baja, baja, media, alta y muy alta.

Susceptibilidad Muy Baja: la encontramos en zonas planas o de inclinación muy suave con pendientes menores a 7° , este grado de susceptibilidad se caracteriza por estar presente en unidades geomorfológicas de origen denudacional y fluvial, la geología que contiene esta susceptibilidad es de resistencia muy dura presentando muy pocos movimientos en masa estas zonas se caracterizan por no tener impacto directo del hombre donde se encuentran bosques y densa vegetación, en el área de estudio la mayor zona de muy baja susceptibilidad es la represa de Chivor.

Susceptibilidad Baja: este grado de susceptibilidad se caracteriza por zonas de pendientes de 7° hasta 11° , también se encuentran presentes geoformas de tipo denudacional, en estas áreas ya es más frecuente la presencia de movimientos en masa con geología de rocas de resistencia dura a muy dura, en el área de estudio esta influencia está marcada principalmente por los suelos y zonas de formación de planicies como la presente en el municipio de Guayata sector San Antonio.

Susceptibilidad Media: estas zonas están marcadas por tener pendientes que van desde muy abruptas a inclinadas desde los 11° a 19°, están marcadas por geoformas de origen denudacional de laderas inclinadas, estas geoformas son generadas en rocas de las formaciones presentes en el área de estudio ya que estas presentan una morfología muy variada, típico de estas laderas encontrar procesos erosivos como surcos o cárcavas, con gran impacto debido a la acción del hombre.

Susceptibilidad Alta: esta zona es característica por presentar pendientes abruptas a escarpadas que van desde los 19° hasta 40°, las geoformas que se encuentran en este valor de susceptibilidad son de origen denudacional y estructural con frecuentes depósitos de origen coluvial, esta marcada por procesos erosivos intensos donde se pueden llegar a apreciar hasta cárcavas.

Susceptibilidad Muy Alta: alta la encontramos en zonas muy escarpadas relacionada a geoformas de origen estructural presentándose con mayor frecuencia en zonas de corte de talud como se evidencio en el trayecto de la vía a Macanal estas zonas las encontramos con mayor presencia hacia los municipios de Chivor, Macanal y Almeida, pero también se encuentran a lo largo del área de estudio y son las zonas donde se presentan los movimientos encontrados en el trabajo de campo donde procesos generados por el hombre inciden en mayor proporción a la generación de estos movimientos como la minería, la ganadería y la deforestación.

CONCLUSIONES

- Se realizó la recopilación de información topográfica, geológica, geomorfológica y de imágenes satelitales existentes para realizar la delimitación de las áreas afectadas por movimientos en masa.
- Se realizó el procesamiento de la información adquirida en la fase de campo como resultado se cartografiaron 12 unidades geológicas, una del periodo Mesozoico, nueve del periodo cretácico inferior y dos del cuaternario, se tomaron datos estructurales en campo y se identificaron los distintos ambientes geomorfológicos existentes en el área de estudio para determinar las subunidades geomorfológicas donde se obtuvo como resultado (36) geoformas pertenecientes a (4) ambientes morfogenéticos.
- En la zona, Se cartografiaron en total 32 movimientos en masa, entre los que se reconocieron, movimientos activos e inactivos que pueden ser reactivos en periodos de intensas lluvias. Así mismo se identificaron algunos que pueden afectar a la comunidad ya que se encuentran cerca de Ríos y Quebradas y obras de Infraestructura.
- Se elaboró el mapa de susceptibilidad geológico a escala 1:25:000 donde se evaluaron y calificaron las unidades litológicas teniendo en cuenta sus diferentes componentes.
- Teniendo como insumo el modelo de elevación digital DEM (12.5m) se evaluaron los parámetros morfométricos (pendientes, rugosidad, acuenca) para elaborar la susceptibilidad por morfogénesis a escala 1:25:000.
- Se realizó la evaluación de los diferentes movimientos en masa presentes en al área de estudio dando como resultado la obtención de grandes movimientos en masa que afectan directamente a los municipio de Almeida, somondoco, macanal y Chivor.
- Se realizó la susceptibilidad Geomorfológica analizando variables importantes como Morfodinámica, morfometría y morfogénesis, en relación con el ambiente de formación.

- El desarrollo de software y de herramientas utilizadas en la geología nos permiten estar día a día en el mejoramiento de la producción de cartografía y procesamiento de información, que nos es útil para la obtención de zonas con tendencia a procesos de movimientos en masa.
- El presente trabajo sirve como insumo para la realización de futuros trabajos a detalle ya que no se contaba con esta escala de detalle la cual es alta y no se contaba con estudios previos en esta zona.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la realización de estudios con un enfoque geotécnico esto con el fin de obtener las condiciones más específicas de la información geológica que sería un insumo muy importante en la evaluación de la afectación de daños a la infraestructura causados por los movimientos en masa.

Se invita a las autoridades competentes al seguimiento y monitoreo de los distintos movimientos del área de estudio ya que estos son de proporciones considerables y pueden causar grandes daños a la infraestructura.

Se sugiere hacer seguimiento minucioso a los municipios de Almeida y Chivor ya que estos presentaron las zonas con mayor frecuencia de movimientos esta última generada a causa de la minería, que provoca la inestabilidad del terreno y ya hay evidencia de grandes movimientos sin tomar ninguna medida preventiva.

Realizar un estudio a detalle del componente geológico y geomorfológico con el fin de obtener mayor conocimiento del área y comprender mejor su comportamiento.

BIBLIOGRAFÍA

CARVAJAL et al., 2003. Visión integral de la geomorfología Colombiana. Resumen poster. Memorias del IX Congreso Colombiano de Geología. Medellín. Colombia.

CARVAJAL, j. 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio geológico colombiano, Bogotá D.C, Colombia.

Servicio nacional de geología a y minería publicación geológica multinacional no. 4, 2007. Movimientos en Masa en la Región andina, Una guía para la evaluación de amenazas, Bogotá D.C, Colombia.

Servicio geológico colombiano 2012. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Bogotá D.C, Colombia.

Servicio geológico colombiano 2013. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa Escala 1:100.000, Bogotá D.C, Colombia.

Servicio Geológico Colombiano. 2014. Glosario Geomorfológico, Bogotá D.C, Colombia.

Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 229, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2013

Terraza R, Etayo F, et al. Geología de la Plancha 210, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá, 2010.