

**APOYO TÉCNICO PARA LA REVISIÓN EXCEPCIONAL DE LOS PLANES DE
ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LOS MUNICIPIOS
LOCALIZADOS EN LA ZONA DE EMBALSE DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO**

**JAVIER RICARDO MARTÍNEZ GÁLVIS
KATALINYISET NIEVES CORDÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2015**

**APOYO TÉCNICO PARA LA REVISIÓN EXCEPCIONAL DE LOS PLANES DE
ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LOS MUNICIPIOS
LOCALIZADOS EN LA ZONA DE EMBALSE DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO**

**JAVIER RICARDO MARTÍNEZ GÁLVIS
Cód. 2102507
KATALINYISET NIEVES CORDÓN
Cód. 2102480**

Trabajo de grado para optar al título de Geólogo

**Director
ÁLVARO MAURICIO SOLARTE VANEGAS
GEÓLOGO Msc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2015**

DEDICATORIA

Quiero dedicarles este gran logro a Dios y a mi familia que día a día buscan un mejor futuro para mí y que sin escatimar esfuerzo alguno me han dado todas las herramientas para enfrentar cada reto que viene a mí, con cada amanecer.

Javier Ricardo Martínez Galvis

A mis padres, Rosabel Córdón Tavera y Pedro Leonardo Nieves Ramírez, por su amor, dedicación, apoyo incondicional, trabajo y sacrificios en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y ser la persona que soy.

A mi hermano Deyber Leonardo Nieves Córdón, por su compañía y complicidad en todo momento.

Y a todas aquellas personas que han estado presentes en mi vida y acompañándome a lo largo de todo este lindo proceso.

Katalinyiset Nieves Córdón

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S (ALICON & ING S.A.S) por haber permitido nuestra vinculación dentro de la organización para el desarrollo del ejercicio profesional y a UT CONURBANO por el apoyo económico para el desarrollo de la práctica.

Al Geólogo Msc. José Neyith Contreras Sandoval, representante legal de ALICÓN & ING S.A.S, por la orientación prestada, y a todo el equipo de trabajo que labora en esta empresa.

A nuestro director, el Geólogo Msc. Álvaro Mauricio Solarte Vanegas por la dedicación, paciencia y apoyo a lo largo de todo el proceso vivido en esta práctica empresarial.

Al equipo de trabajo de campo, los Geólogos Iván Felipe Palacios Mendoza y Édison Armando Rey Ruíz por el acompañamiento, la orientación y la paciencia; y un especial agradecimiento a nuestros compañeros de campo Cindy Nathalia Araque Gómez, Jessika Lizeth Otero Ramírez, Diego Alberto Osorio Afanador y Cesar Augusto Rojas Ruíz, quienes nos dieron la oportunidad de compartir experiencias, conocimientos, ideas, inquietudes, y por su amistad y apoyo incondicional.

A la Economista Natalia Andrea García Merchán, por su disposición, colaboración y ayuda en la gestión realizada para agilizar trámites finales para la entrega del proyecto.

Y finalmente, a todos aquellos que de una u otra manera se han hecho partícipes en todo el proceso, no solo en el de este proyecto, sino lo largo de toda nuestra instancia en la Universidad Industrial de Santander.

GRACIAS

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. JUSTIFICACIÓN.....	19
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
3. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	21
4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	22
4.1 FISIOGRAFIA DEL ÁREA DE TRABAJO	22
5. MARCO GEOLÓGICO.....	24
5.1 ESTRATIGRAFÍA	27
5.1.1 formación girón (JG).	27
5.1.2 Formación los santos (Kils – K1ls).....	29
5.1.3 Formación Rosablanca (Kir - K1r).....	30
5.1.4 Formación Paja (Kip - K1p).....	32
5.1.5 Formación Tablazo (Kit – K1t)	33
5.1.6 Formación Simití (Kis – K1s).....	34
5.1.7 Formación La Luna (Ksl – K2l).....	35
5.1.8 Formación Umir (Ksu – K2u).....	36
5.1.9 Formación Lisama (Tpl-E1l).....	37
5.1.10 Formación La Paz (Tel-E2l)	38
5.1.11 Formación Esmeraldas (Tee-E2e)	40
5.1.12 Formación Mugrosa Inferior y Superior (Tomi, Toms-E3mi, E3ms)	41
5.1.13 Formación colorado (Toc-N3c)	42
5.1.14 Formación Real (Tmr-N1r).....	43
5.1.15 Depósitos cuaternarios (Qtf, Qal).....	44
5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	45
5.2.1 Fallas	46
5.2.1.1 Falla de Bucaramanga:	46
5.2.1.2 Falla del Suarez:	46
5.2.1.3 Sistema de fallas La Salina.....	47
5.2.2 Pliegues	47
5.2.2.1 Anticlinal de los cobardes:	47
5.2.2.2 Sinclinal de nuevo mundo:.....	47
5.2.2.3 Sinclinal de Zapatoca:.....	47
6. METODOLOGÍA	48
6.1 Fase de recopilación de información bibliográfica para el área de interés:.....	55
6.2 Análisis de la información, y unificación de metodologías:	55

6.3 Trabajo de campo:	55
6.4 Integración de resultados.....	56
7. RESULTADOS.....	58
7.1 GEOLOGÍA.....	59
7.1.1 Estratigrafía.....	59
7.1.1.1 Formación Girón (Jg).....	60
7.1.1.2 Formación Los Santos (K1ls).....	61
7.1.1.3 Formación Rosablanca (K1r).....	62
7.1.1.4 Formación Paja (K1p).....	64
7.1.1.5 Formación Tablazo (K1t).....	65
7.1.1.6 Formación Simití (K1s).....	66
7.1.1.7 Formación La Luna (K2l).....	67
7.1.1.8 Formación Umir (K2u).....	68
7.1.1.9 Formación Lisama (E1l).....	69
7.1.1.10 Formación La Paz (E2l).....	69
7.1.1.11 Formaciones Esmeralda (E2e), Mugrosa (E3m), Colorado (N3c) y el grupo Real (N1r).....	70
7.1.1.12 Depósitos Cuaternarios (Qal, Qcol, Qtf).....	72
7.1.2 Geología estructural.....	73
7.1.2.1 Fallas	73
7.1.2.2 Pliegues	77
7.2 GEOMORFOLOGÍA.....	79
7.2.1 MORFOMETRÍA:.....	79
7.2.2 MORFOGÉNESIS:.....	79
7.2.2.1 Geoformas de origen denudacional.....	79
7.2.2.2 Geoformas de origen Kárstico.....	86
7.2.2.3 Geoformas de origen estructural.....	87
7.2.2.4 Geoformas de origen fluvial	93
7.2.3 MORFODINÁMICA:.....	95
7.2.3.1 Indicadores estadísticos morfodinámicos:	95
8. DISCUSIÓN.....	98
9. CONCLUSIONES.....	102
10. RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de los municipios de Betulia, Zapatoca y San Vicente de Chucurí.	22
Figura 2. Corte a través de las principales unidades fisiográficas del área de estudio	23
Figura 3. Localización de Zapatoca, Betulia y San Vicente de Chucurí en el mapa geológico del INGEOMINAS.	24
Figura 4. Localización del área de estudio.	255
Figura 5. Evolución tectónica de la cordillera oriental, Valle medio del Magdalena y la Cuenca de los Llanos.	26
Figura 6. Perfil Estratigráfico de la Formación Girón.	28
Figura 7. Perfil estratigráfico de la Formación Los Santos.	29
Figura 8. Perfil estratigráfico de la Formación Rosablanca.	30
Figura 9. Perfil estratigráfico de la Formación Paja.	31
Figura 10. Perfil estratigráfico de la Formación Tablazo.	32
Figura 11. Perfil Estratigráfico de La Formación Simití.	33
Figura 12. Perfil Estratigráfico de la Formación La Luna.	365
Figura 13. Perfil Estratigráfico de la Formación Umir.	376
Figura 14. Perfil Estratigráfico de la Formación Lisama.	387
Figura 15. Perfil Estratigráfico de la Formación La Paz.	398
Figura 16. Perfil Estratigráfico de La Formación Esmeraldas.	39
Figura 17. Perfil Estratigráfico de la Formación Mugrosa.	40
Figura 18. Perfil Estratigráfico de la Formación Colorado.	41
Figura 19. Perfil estratigráfico de la Formación Real.	42
Figura 20. Modelo estructural regionalizado del Departamento de Santander en donde se destacan los municipios de Zapatoca, Betulia y San Vicente de Chucurí.	454
Figura 21. Diagrama de atributos para la elaboración del mapa de susceptibilidad.	47
Figura 22. Diagrama de atributos dentro de la variable geomorfología, con sus respectivos porcentajes.	48
Figura 23. Diagrama de atributos dentro de la variable geología, con sus respectivos porcentajes	49
Figura 24. Fases metodológicas para el desarrollo del proyecto	52
Figura 25. Mapa de la estaciones realizadas en campo durante el proyecto	56
Figura 26. Secuencia de la parte media de la Formación Girón, compuesta por lodolitas y areniscas de color morado.	59
Figura 27. Localización de la Formación Los Santos sobre la Cuchilla de San Pablo en el municipio de Zapatoca.	59
Figura 28. Secuencia de Shales y Calizas de La Formación Rosablanca.	60
Figura 29. Afloramiento de la Formación Rosablanca en la vereda Las Puentes en el municipio de Zapatoca.	61
Figura 30. Contacto entre la Formación Paja y la Formación Rosablanca sobre el Valle de la Quebrada Los Lobitos en el municipio de Zapatoca.	61

Figura 31. Afloramiento de la Formación Paja en la vereda Santa Inés en el municipio de San Vicente de Chucurí	62
Figura 32. Afloramiento de la Formación Tablazo, en la vereda San Agustín en el municipio de San Vicente de Chucurí	63
Figura 33. Escarpe de la Formación Tablazo en el corregimiento de La Fuente. ..	63
Figura 34. Afloramiento de la Formación Simití en la vereda La Plazuela en el municipio de Zapatoca.....	64
Figura 35. Afloramiento de la Formación la Luna.	65
Figura 36. Afloramiento de la Formación Umir en la vereda Nuevo Mundo en el municipio de San Vicente de Chucurí	65
Figura 37. Afloramiento de la Formación Lisama en la vereda Nuevo Mundo en el municipio de San Vicente de Chucurí.	66
Figura 38. Panorámica del Cerro de La Paz en el municipio de Zapatoca.	67
Figura 39. Suelo residual de la Formación Colorado en la vereda Puerto Rico en el municipio de San Vicente de Chucurí	68
Figura 40. Suelo residual de la Formación Real en la vereda Puerto Rico en el municipio de San Vicente de Chucurí	738
Figura 41. Coluviones localizados sobre la Formación Girón, en la vía que comunica Zapatoca con Bucaramaga.....	69
Figura 42. Coluvión localizado sobre el Pico de la Vieja en el municipio de Zapatoca.....	70
Figura 43. Vista del trazo de la Falla del Suarez desde el Mirador de Los Guanes en el municipio de Zapatoca.	71
Figura 44. Trazo de la Falla del Suarez, vista desde el Pico de la Vieja en el municipio de Zapatoca.....	71
Figura 45. Fallas alrededor del casco urbano del municipio de San Vicente de Chucurí.	72
Figura 46. Panorámica del Mirador de la Virgen, en el que se observa el comportamiento Normal de la Falla de Betulia	783
Figura 47. Afloramientos en los que se evidencia el comportamiento Inverso de la Falla de Betulia.	763
Figura 48. Panorámica de la Falla de Zapatoca.	774
Figura 49. Flanco Oeste del Sinclinal de Zapatoca.....	75
Figura 50. Panorámica del Sinclinal de Nuevo Mundo.	75
Figura 51. Panorámica en la vereda Piedra Blancas, en el municipio de Zapatoca, evidenciando Cimas y su disposición con otras geoformas.....	77
Figura 52. Panorámica en la vereda Nuevo Mundo en el municipio de Zapatoca, mostrando depósitos coluviales	77
Figura 53. Panorámica en la vereda El Batán, en el municipio de Zapatoca, mostrando un escarpe de erosión mayor.....	78
Figura 54. Panorámica de Escarpes de Erosión Menor, visto desde la Vereda Santa Bárbara en el municipio de Betulia.	79
Figura 55. Panorámica de la vereda Las Puentes tomada desde la vereda Santa Rosa, en el municipio de Zapatoca, en la que se muestran laderas inclinadas.	79
Figura 56. Panorámica en la veredas Las Puentes en el municipio de Zapatoca, mostrando geoformas de tipo laderas muy inclinadas	80

Figura 57. Panorámica de la Hidroeléctrica de Sogamoso en la que se aprecian lomas denudadas.....	81
Figura 58. Panorámica de lomos residuales en la vereda La Putana en el municipio de Betulia.....	81
Figura 59. Panorámica en la que se muestra una planicie colinada residual en la vereda La Putana en el municipio de Betulia.....	82
Figura 60. Colina residual en la vereda La Cristalina en el municipio de San Vicente de Chucurí.....	883
Figura 61. Panorámica de la Finca La Joya, en a vereda Las Flores en el municipio de Zapatoca, mostrando un dolina.....	84
Figura 62. Ladera estructural de sierra homoclinal denudada en el Puente El Ramo en el municipio de Betulia.....	85
Figura 63. Ladera de contrapendiente de falla y escarpe en la vereda San José en el municipio de Betulia.....	85
Figura 64. Panorámica del norte del municipio de Betulia, mostrando espolones facetados y su relación con otras geoformas.....	86
Figura 65. Panorámica de la vereda Santa Rosa, en el municipio de Zapatoca, mostrando un escarpe de línea de falla.....	86
Figura 66. Panirámica de la vereda Piedras Blancas, en el municipio de Zapatoca, mostrando espolones estructurales.....	87
Figura 67. Panorámica de laderas estructurales de anticlinal formada al Este del caco urbano de Betulia.....	88
Figura 68. Panorámica de la región mas norte del Sinclinal de Zapatoca, en limites con la Quebrada Zapatoca, en la que se evidencian laderas de contrapendiente sinclinal.....	88
Figura 69. Panorámica hacia el NW del casco urbano de Zapatoca, mostrando geoformas de tipo laderas estructurales sinclinales.....	89
Figura 70. Fcetas triangulares vistas desde la vía que comunica el puente El Ramo con la cabecera municipal de Betulia.....	90
Figura 71. Terraza de erosión fluvial en el corregimiento de Yarima en el municipio de San Vicente de Chucurí.....	91
Figura 72. Cauce fluvial del río Cascajales en el corregimiento de Yarima en el municipio de San Vicente de Chucurí.....	91
Figura 73. Mapa de localización de los movimientos en masa encontrados en el área de trabajo.....	92
Figura 74. Densidad de movimientos presentes en cada uno de los municipios del área de trabajo.....	93
Figura 75. Densidad de movimientos en masa según su tipo.....	93
Figura 76. Densidad de movimientos en masa en las diferentes unidades aflorantes en el área de estudio.....	94
Figura 77. Mapas geológicos del municipio de Zapatoca.....	95
Figura 78. Mapas geológicos del municipio de Betulia.....	95
Figura 79. Mapas geológicos del municipio de San Vicente de Chucurí.....	96
Figura 80. Mapas geomorfológicos del municipio de Betulia.....	97
Figura 81. Mapas geomorfológicos del municipio de San Vicente de Chucurí.....	97

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación del terreno según su pendiente.....	48
Tabla 2. Clasificación de movimientos en masa según Varnes (1978).....	48
Tabla 3. Categorías de resistencia a la compresión simple de las rocas, según Hoke (1996).....	24
Tabla 4. Propuesta de calificación de las rocas dependiendo de su fábrica y estructura.....	25
Tabla 5. Clasificación de las rocas según su textura/fábrica.	51
Tabla 6. Clasificación cuantitativa de las rocas según su textura/fábrica.	52
Tabla 7. Clasificación cuantitativa de las rocas de cada unidad litoestratigráfica según la textura/fábrica.....	57

ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Mapa Geológico.	CD
Anexo B. Mapa Geomorfológico..	CD
Anexo C. Mapa Morfométrico..	CD
Anexo D. Formato de inventario de movimientos en masa.....	CD
Anexo E. Inventario de movimientos en masa de Zapatoca.	CD
Anexo F. Inventario de movimientos en masa de San Vicente de Chucurí.	CD
Anexo G. Inventario de movimientos en masa de Betulia.....	CD

RESUMEN

TÍTULO: APOYO TÉCNICO PARA LA REVISIÓN EXCEPCIONAL DE LOS PLANES DE ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LOS MUNICIPIOS LOCALIZADOS EN LA ZONA DE EMBALSE DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO.*

AUTORES: JAVIER RICARDO MARTÍNEZ GÁLVIS, KATALINYISET NIEVES CORDÓN. **

PALABRAS CLAVES: Geología, Geomorfología, Betulia, San Vicente de Chucurí, Zapatoca, Amenazas, movimientos de masa activos, insumos.

DESCRIPCIÓN

En el presente trabajo se muestra como fueron adquiridos los insumos necesarios para un posterior estudio de amenazas por remoción en masa, en donde se considera la importancia de los factores geológicos que afectan un área determinada, como la litología, estructuras geológicas, movimientos en masa activos y, en algunos casos, procesos geológicos que afectan el macizo rocoso. Para lo cual se pudieron identificar en campo los diferentes tipos de rocas y su grado de meteorización, que también es importante a la hora de diferenciarlas dependiendo de sus propiedades geotécnicas; junto a esto se identificaron las estructuras mayores o principales con una dirección aproximada norte-sur, y a su vez estas se encuentran cortadas de forma oblicua y perpendicularmente por estructuras secundarias, lo cual evidencia un fuerte control estructural en la zona.

Durante el trabajo de campo se logró identificar una secuencia sedimentaria, la cual consta de 14 formaciones geológicas, en los municipios de San Vicente de Chucurí, Zapatoca, y Betulia, correspondientes a un periodo de tiempo entre el Jurásico y el Paleógeno, y junto a esto fueron cartografiados depósitos cuaternarios tanto de origen coluvial y aluvial.

Se recopiló toda la información litológica y de estructuras geológicas, que fue recolectada durante la fase de trabajo de campo, en los mapas geológicos y geomorfológicos para cada uno de los municipios mencionados anteriormente, los cuales fueron entregados como insumos a la Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S para su posterior estudio de amenazas por remoción en masa e incorporación a los planes de ordenamiento territorial.

**Proyecto de Grado*

***Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. UIS. Director: Álvaro Mauricio Solarte Vanegas, Magister en Geología.*

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL SUPPORT FOR EXCEPTIONAL REVIEW OF THE TERRITORIAL SCHEME PLANS OF THE MUNICIPALITIES LOCATED IN THE AREA OF RESERVOIR SOGAMOSO HYDROELECTRIC PROJECT.*

AUTHORS: JAVIER RICARDO MARTÍNEZ GÁLVIS, KATALINYISET NIEVES CORDÓN **

KEY WORDS: Geology, Geomorphology, Betulia, San Vicente de Chucurí, Zapatoca, Threats, active mass movements, supplies.

DESCRIPTION

In the present work is shown how were acquired the supplies needed for further study of threats by landslides, where it is considered the importance of geological factors affecting a particular area, which affect environmental issues, in our case we focus on lithology, geological structures, active mass movements and, in some cases, the geological processes that affect the rock massif. Therefore could be identified in field different rock types and their degree of weathering is also important when it comes to differentiate depending on their geotechnical properties along this major or main structures with an approximate north-south direction were identified and in turn these are cut obliquely and perpendicularly by secondary structures, which shows a strong structural control in the area.

During the fieldwork it was possible to identify a sedimentary sequence which consists of 14 geological formations in the municipalities of San Vicente de Chucurí, Zapatoca and Betulia, corresponding to a period time between the Jurassic and the Paleogene, and next to it were mapped quaternary deposits, colluvial and alluvial.

All the lithological and geological structure information were collected during of fieldwork in the geological and geomorphological maps for each of the municipalities mentioned above, which were given as supplies to Consultant & Engineering Alliance S.A.S for a further study of threats by landslides and incorporation into the land use plans.

*Degree work

**Physicochemical Engineering Faculty. Geology School. UIS. Director: Msc. Álvaro Mauricio Solarte Vanegas.

INTRODUCCIÓN

El aporte geológico enfocado en el estudio de amenazas naturales permite darle a los municipios del territorio colombiano, conocimientos para que estos, puedan administrar, prevenir y minimizar los riesgos naturales, que pueden llegar a ser perjudiciales para las mismas sociedades.

Lo que hace necesario realizar estudios de amenazas naturales, para tener un mayor control del comportamiento de cada uno de los suelos presentes en la zona de trabajo teniendo en cuenta factores como la geología, geomorfología y coberturas de tierras.

La zona de estudio corresponde a los municipios de Zapatoca, Betulia y San Vicente de Chucuri pertenecientes al departamento de Santander, ubicado geológicamente en el flanco Oeste de la cordillera oriental y el Valle Medio del Magdalena, el área se encuentra bajo el dominio de estructuras geológicas tales como la Falla de Suarez, el Sinclinal de Zapatoca, sistema de fallas de San Vicente, sinclinal de Nuevo Mundo y el anticlinal de los Cobardes, los cuales están representados en las planchas 109, 108, 135, 134, 119 y 120 del INGEOMINAS.

En el presente trabajo se muestran los resultados referente a los insumos necesarios para la generación de los mapas de susceptibilidad para cada uno de los municipios involucrados, la actualización cartográfica en campo se realizó a escala 1:25.000, para obtener un mejor detalle del comportamiento de cada una de las zonas frente a fenómenos naturales, en este caso en específico a los movimientos en masa.

La geología y la geomorfología se muestra de manera integral para el área total de los tres municipios mencionados anteriormente, considerando una lógica natural de continuidad que mantienen las diferentes unidades cartografiadas y no con las respectiva división jurídica administrativa de dichos municipios.

1. JUSTIFICACIÓN

Según lo considerado en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997 establece que los municipios y distritos deben tener en cuenta en la elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial, lo relacionado con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales, así como las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos y las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos.

Por lo cual se considera en el decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014 donde se hace necesario la inclusión de los estudios de gestión de riesgo dentro de los planes de ordenamiento territorial para cada uno de los municipios del territorio colombiano.

Por lo tanto se hace necesario la recolección de insumos, para la generación de los modelos de amenazas dentro de los estudios de gestión de riesgo, para la posterior inclusión a los respectivos planes de ordenamiento territorial.

Dentro de lo cual se deberá realizar la actualización geológica y la cartografía de las unidades Geomorfológicas, puesto que factores como la litología, pendiente, y geología estructural de la zona son de vital importancia en la ocurrencia de fenómenos de remociones en masa, para este caso para los municipios de Zapatoca, Betulia y San Vicente de Chucurí.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Recolección de insumos para los planes de gestión de riesgos de los municipios de Zapatoca, San Vicente de Chucurí y Betulia, donde se incluyen mapas geológicos, mapas geomorfológicos e inventarios de movimientos en masa.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Aplicar los conocimientos y destrezas adquiridos durante la carrera, en un proceso de retroalimentación, en el cual se tenga la posibilidad de conocer el ambiente interno de una organización.
- Vincularnos al ejercicio profesional en algún tipo de actividad que represente un valor agregado dentro de su formación académica y que permita elevar nuestro nivel de competitividad.
- Crear, proponer y dinamizar con propuestas y acciones.
- Compartir experiencias y conocimientos.
- Presentar soluciones reales a la empresa.
- Establecer buenas relaciones interpersonales.
- Trabajar en equipo.
- Cumplir y delegar responsabilidades.

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

La zona de trabajo comprende los municipios de Zapatoca, Betulia y San Vicente de Chucurí, cuya área total es bastante extensa, consta de aproximadamente 1900 km²; por tal motivo, el equipo humano de trabajo para la realización del proyecto no solamente estuvo conformado por los autores del presente libro, si no que en total estuvo integrado por tres geólogos y seis auxiliares de geología.

Se deja en claro que el objetivo principal de esta práctica empresarial es la recolección de insumos durante aproximadamente cuatro meses en campo y específicamente la generación de mapas de tipo geológico y geomorfológico, los demás productos como los inventarios en movimientos en masa son actividades adicionales realizadas en campo necesarias para el estudio de amenazas, los cuales fueron requeridos por la empresa interesada, mas no se incluye el análisis de estos en el resultado final del presente trabajo, y tampoco la generación del modelo de amenazas.

Todos los gastos, como implementos de campo, viáticos, transporte y todo lo requerido para la realización de la práctica fueron asumidos en su totalidad por la empresa UT CONURBANO. Por eso toda la autoría corresponde a ellos y la fuente es UT CONURBANO.

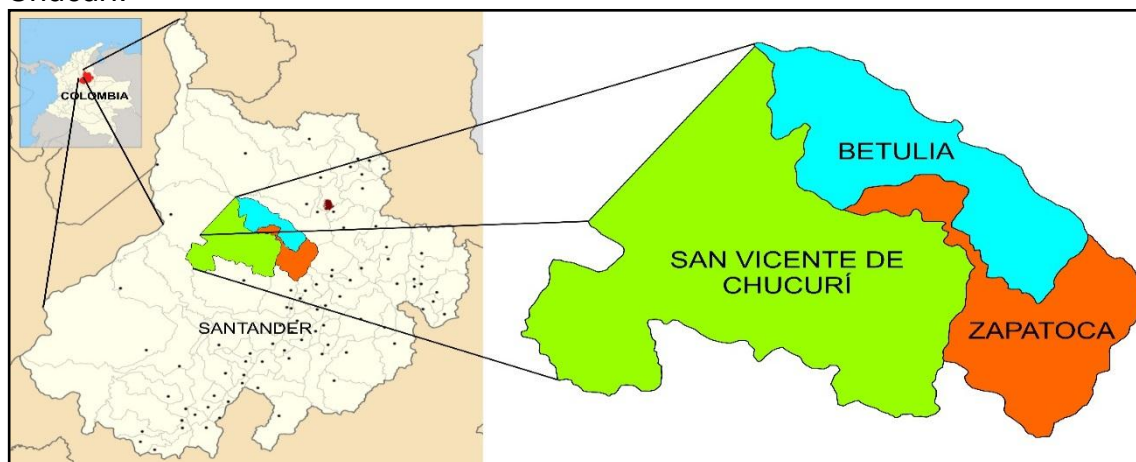
Documentos a entregar:

- Mapa Geológico correspondiente al área de trabajo.
- Mapa Geomorfológico correspondiente al área de trabajo.
- Inventarios de movimientos en masa.

4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La zona de estudio que comprende los municipios de Zapatoca, Betulia y San Vicente de Chucurí (Figura 1). Se encuentra localizada en la parte central del departamento de Santander, al suroeste de la capital Bucaramanga; perteneciente a la provincia regional de Mares, al extremo occidental de la Cordillera Oriental, dentro de las coordenadas planas con origen Bogotá (E: 1100948 a E: 1034908 y N: 1225334 a N: 1282801).

Figura 1. Localización de los municipios de Betulia, Zapatoca y San Vicente de Chucurí.



4.1 FISIOGRAFIA DEL ÁREA DE TRABAJO

Fisiográficamente la zona de trabajo se puede dividir en tres regiones según su topografía (Figura 2).

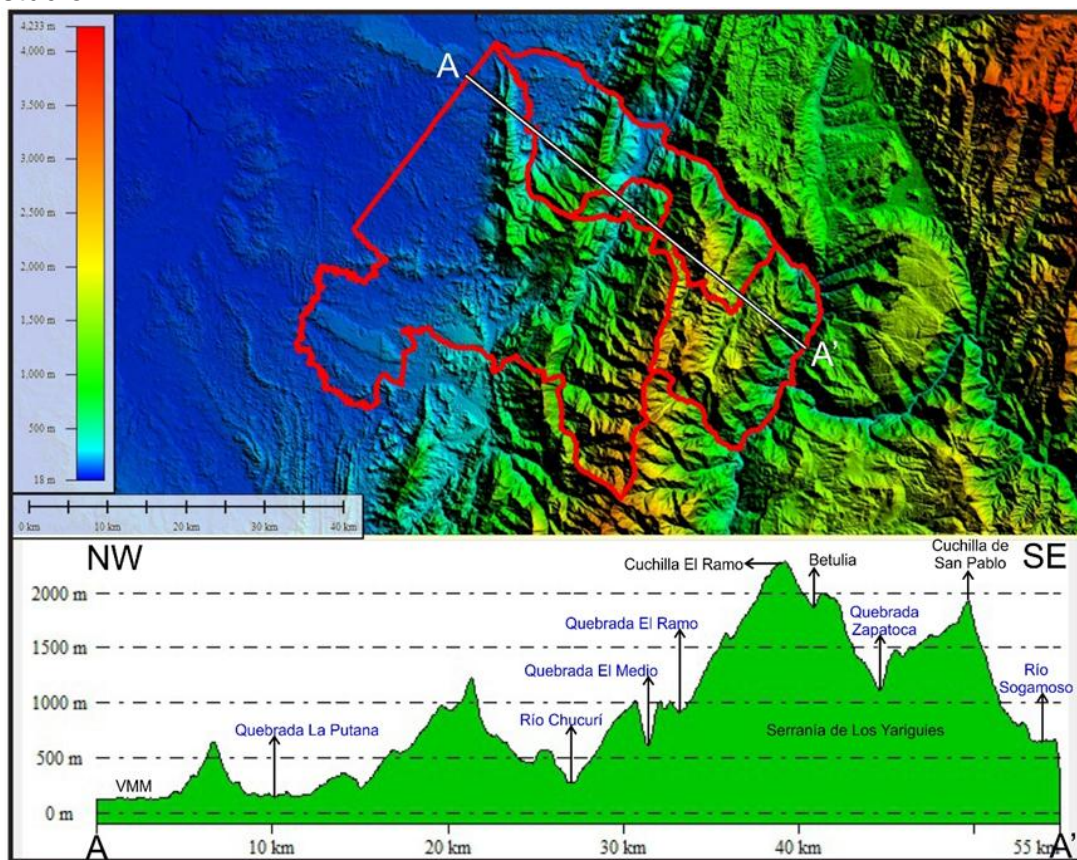
Una primera unidad fisiográfica ubicada al oeste de la zona de trabajo, corresponde a una región con un relieve plano perteneciente al valle del río Magdalena, con alturas que van desde aproximadamente los 80 m.s.n.m. y los 130 m.s.n.m., y con climas cálidos.

Una segunda unidad fisiográfica, localizada en la parte central de la zona de trabajo, limitada al W por la quebrada La Putana y al E por el río Chucurí, es una región de relieve con pendientes intermedias a ondulado, que presenta alturas entre los 130 m.s.n.m. y los 1300 m.s.n.m., con climas cálidos y templados.

Y finalmente, una tercera unidad fisiográfica ubicada al E del área de estudio, limitada al W por el río Chucurí y al E por el río Sogamoso, es una región que presenta alturas entre los 300 m.s.n.m y 2300 m.s.n.m. que correspondería principalmente a la parte denominada serranía de los Yariguíes, esta tercera unidad fisiográfica presenta climas cálidos hacia la parte del cañón del río

Sogamos y climas fríos hacia los altos topográficos conocidos como la Cuchilla del Ramo y San Pablo.

Figura 2. Corte a través de las principales unidades fisiográficas del área de estudio.

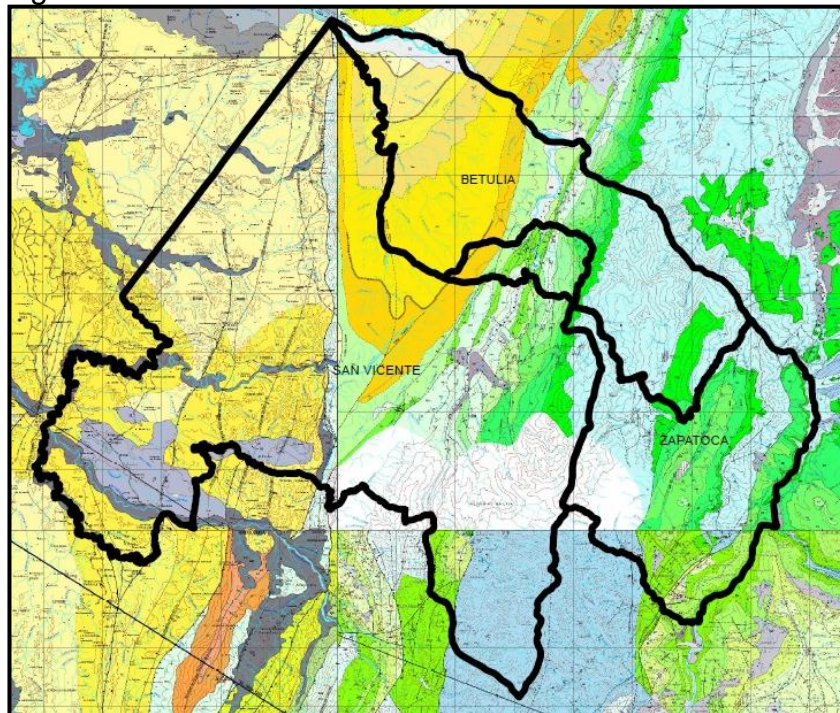


Corte del área de trabajo realizado con el programa Global Mapper. **Fuente:** Autores.

5. MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio está compuesto por rocas que van desde el jurásico hasta el Neógeno (Figura 3), las cuales se encuentran sometidas a un régimen tectónico transpresivo evidenciado por los sistemas de fallas transcurrentes presentes a lo largo del país (Cetina y Patiño, 2013).

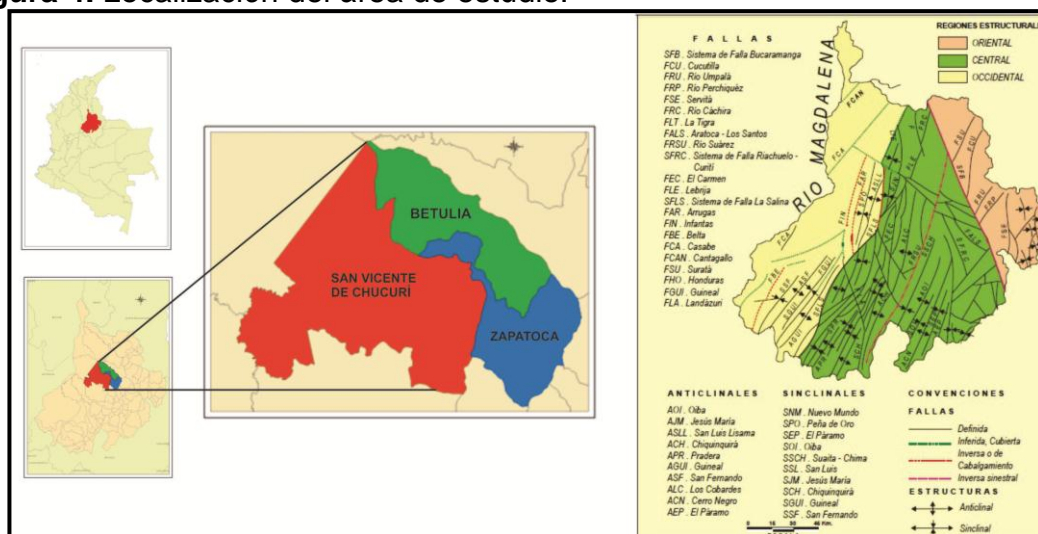
Figura 3. Localización de Zapatoca, Betulia y San Vicente de Chucurí en el mapa geológico del INGEOMINAS.



Fuente: Modificada de las planchas 109, 108, 135, 134, 119 y 120 del INGEOMINAS.

Los municipios de Betulia, Zapatoca y San Vicente de Chucurí se encuentran ubicados dentro de la provincia de la cordillera oriental y parte de la provincia del Valle Medio del Magdalena, según el esquema tectónico del departamento de Santander, adaptado de (Clavijo *et al.*, 1993, en Royero y Clavijo, 2001), donde la primera es limitada al este por el sistema de falla Bucaramanga y al oeste por el sistema de falla La Salina, y la segunda es limitada al este por el sistema de falla la Salina, y al occidente fuera del área del Departamento de Santander por las fallas de Mulatos y Morales (Figura 4).

Figura 4. Localización del área de estudio.



Fuente: Modificado de Vargas (1979); León (1986, 1991); Clavijo, et; al. (1993), en Royero y Clavijo, (2001).

La geología colombiana está representada por el Sistema Montañoso Andino y por el Cratón Amazónico. Eventos tectónicos que influyeron en la evolución geológica de las cuencas generadas a lo largo del país y se encuentran estrechamente ligadas a la evolución del margen activa del oeste de Sur América. (Cooper *et al.*, 1995), reflejando la interacción de varios campos de esfuerzos que han acrecionado terrenos oceánicos y continentales a lo largo de esta margen, levantando los Andes del Norte a lo largo del tiempo geológico (Cortés *et al.*, 2005; en Cetina y Patiño, 2013).

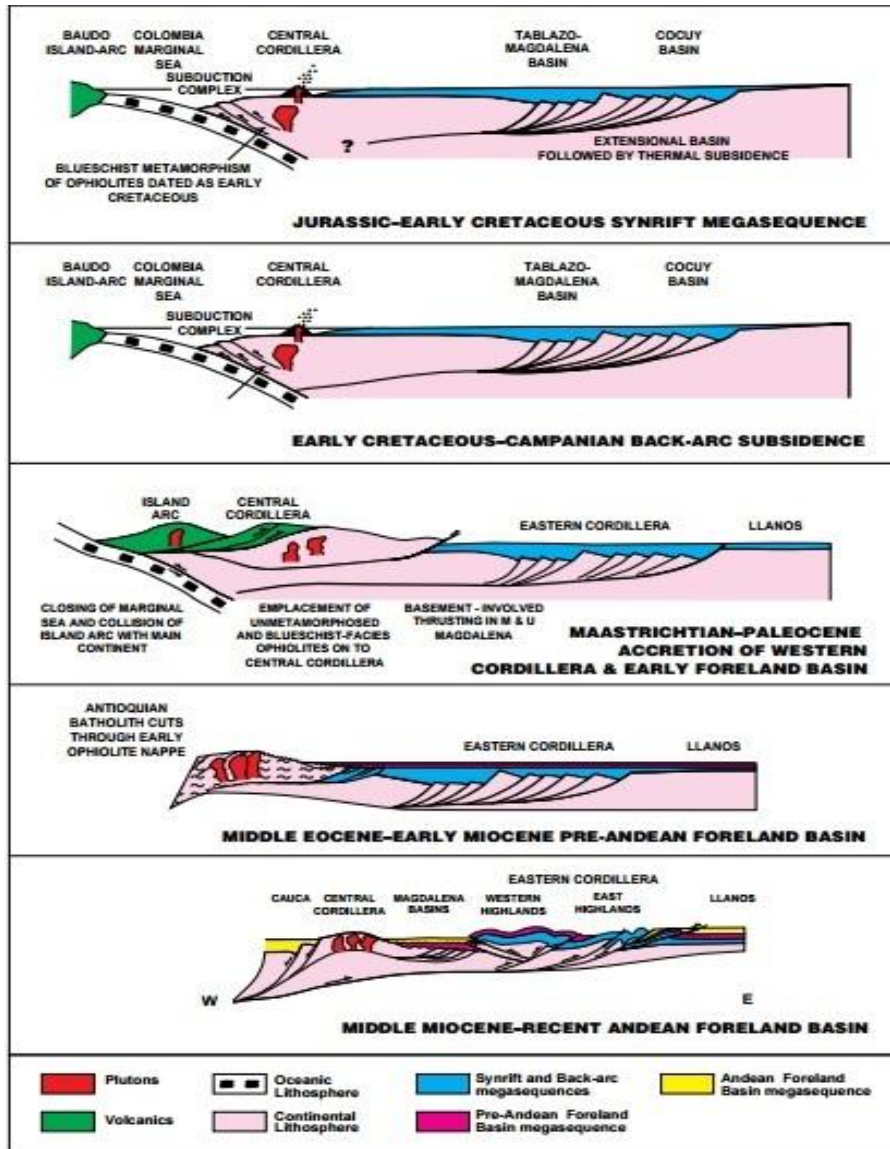
El valle medio del magdalena, la cordillera oriental y la cuenca de los llanos, constituyen regionalmente una importante cuenca sedimentaria que va desde el Triásico al Mioceno medio. (Cooper *et al.*, 1995).

Para la zona de estudio durante el Triásico y Jurásico, fueron depositadas facies continentales, y volcánicas en cuencas extensionales (Mojica *et al.*, 1996, en Sarmiento *et al.*, 2006), durante el Triásico, estas cuencas están relacionadas con las separación de Pangea (Pindell and Dewey, 1982; Ross and Scotese, 1988; Cediel *et al.*, 2003, en Sarmiento *et al.*, 2006) y a partir de Jurásico, se desarrollan detrás de un arco magmático relacionadas a la subducción que se genera en el borde oeste de Sur América, (McCourt *et al.*, 1984; Fabre, 1987; Toussaint and Restrepo, 1989; Cooper *et al.*, 1995; Meschede and Frisch, 1998, en Sarmiento *et al.*, 2006). Durante el cretácico Inferior, facies marinas fueron acumuladas dentro de un sistema de cuencas extensionales, la sedimentación de plataforma marina termino al final del cretácico, debido a la acreción de terrenos oceánicos de la cordillera Occidental. (Sarmiento *et al.*, 2006).

Con la acreción de la cordillera Occidental se dio paso a un episodio deposicional que consistió de llanuras aluviales ricas en carbón, de planicies costeras y depósitos estuarinos a lo largo del valle medio del Magdalena, la cordillera oriental y la cuenca de los Llanos, desde el Maastrichtiano hasta principios del Eoceno. Esta misma secuencia se mantuvo hasta principios del Mioceno, luego de la deformación del Eoceno medio en la cuenca del valle medio del Magdalena. El Mioceno medio comienza con la deformación Andina en la cordillera Oriental aislando el Valle Medio del Magdalena de la cuenca de los Llanos, la deformación estuvo dominada por una inversión tectónica, lo cual dio inicio a la acumulación de facies fluviales, producto del levantamiento de la cordillera Oriental. (Cooper *et al.*, 1995).

En la siguiente figura (Figura 5) se muestra gráficamente la evolución tectónica para la cordillera Oriental, Valle medio del Magdalena y la cuenca de la Llanos, desde el jurásico hasta el Mioceno Medio.

Figura 5. Evolución tectónica de la cordillera oriental, Valle medio del Magdalena y la Cuenca de los Llanos.



Fuente: Tomado de Cooper *et al.*, 1995

5.1 ESTRATIGRAFÍA

En los municipios de Zapatoca, Betulia y San Vicente de Chucurí afloran rocas netamente sedimentarias con edades que varían desde el Jurásico superior hasta unidades pertenecientes al Pleistoceno - Holoceno. A continuación se describe cada una de las unidades que conforman las rocas de estos tres municipios.

5.1.1 Formación Girón (JG):

Inicialmente el término “Girón Series” fue creado por Hettner (1892) para designar una megasecuencia aflorante al occidente de Bucaramanga en los alrededores de Girón, Santander (Royero y Clavijo, 2001).

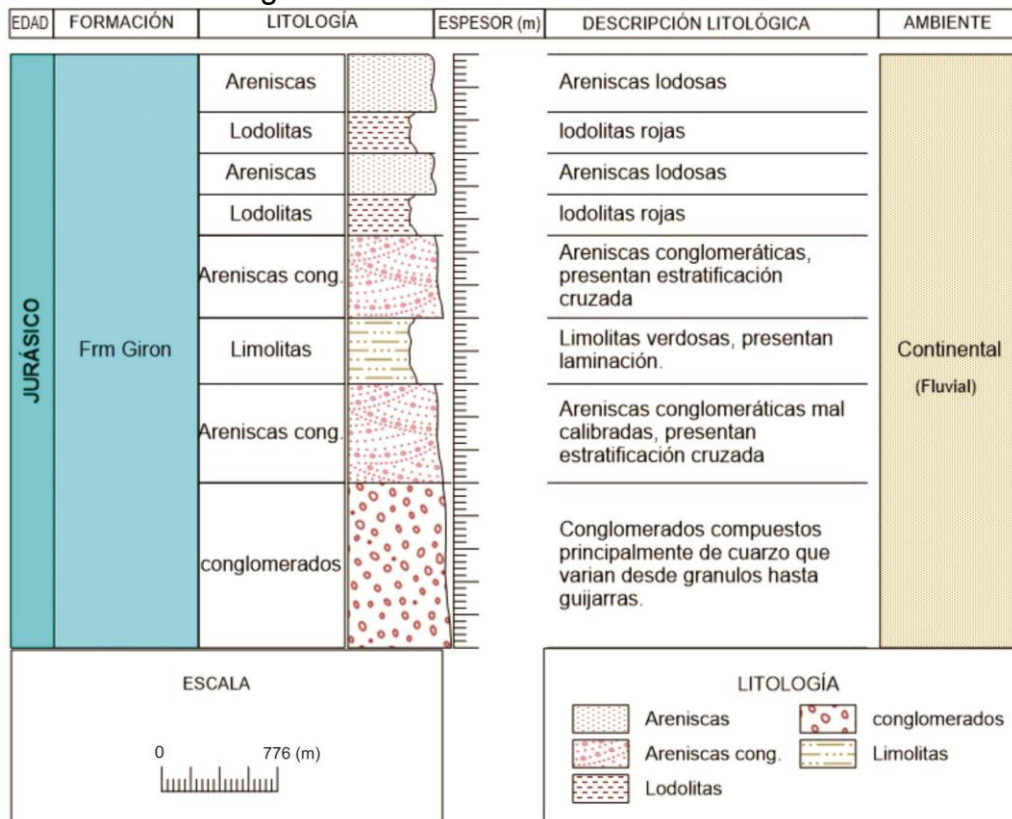
Existen varios estudios generalizados sobre la estratigrafía de la Formación Girón (Oppenheim, 1940; Dickey, 1941; Trumpy, 1943, entre otros) sin embargo

fue hasta el estudio de Langenheim (1959) que se fijó la sección tipo en la angostura del Río Lebrija y se dividió dicha sección en tres miembros: uno inferior arenoso (750 m), uno intermedio lodoso (1.250 m) y otro superior arenoso (1.500 m) para un espesor total de 3.500 m (Royero y Clavijo, 2001). Otros autores han realizado estudios estratigráficos del Grupo Girón (Julivert, 1958; Navas, 1963). Sin embargo, el estudio más detallado y completo es el de Cediell (1968), quien en la sección tipo del Río Lebrija, describió y midió un total de 4.650 m y lo dividió en ocho conjuntos litológicos (A-H), que corresponden a las formaciones Girón (Conjuntos A-G) y Los Santos (H)(Royero y Clavijo, 2001).

Litología

La Formación Girón está compuesta por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente conglomeráticos, de color rojo violáceo, rojo grisáceo y gris verdoso, estratificación cruzada, en capas gruesas, con interestratificaciones de limolitas y lodolitas, de color rojo violeta, grisáceo y algunos niveles delgados de conglomerados con guijos de cuarzo hasta de 4 cm. El espesor de esta unidad varía considerablemente de un sitio a otro, desde unos pocos metros en el escarpe oriental de la Mesa de los Santos hasta 4.650 m en el Río Lebrija. El ambiente de sedimentación es continental, fluvial a lacustre fluvial (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 6. Perfil Estratigráfico de la Formación Girón.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

La Formación Girón reposa en discontinuidad estratigráfica sobre las formaciones Bocas y Jordán e infrayace concordantemente a la Formación Los Santos (Tambor) (Royero y Clavijo, 2001). Para el Grupo Girón se ha establecido una edad Jurásico superior-Cretácico inferior (Pons, 1982 en Royero y Clavijo, 2001).

Correlaciones

En general La Formación Girón ha sido correlacionada con la Formación La Quinta del Jurásico superior en el occidente de Venezuela (Oppenheim, 1940).

5.1.2 Formación Los Santos (Kils – K1ls)

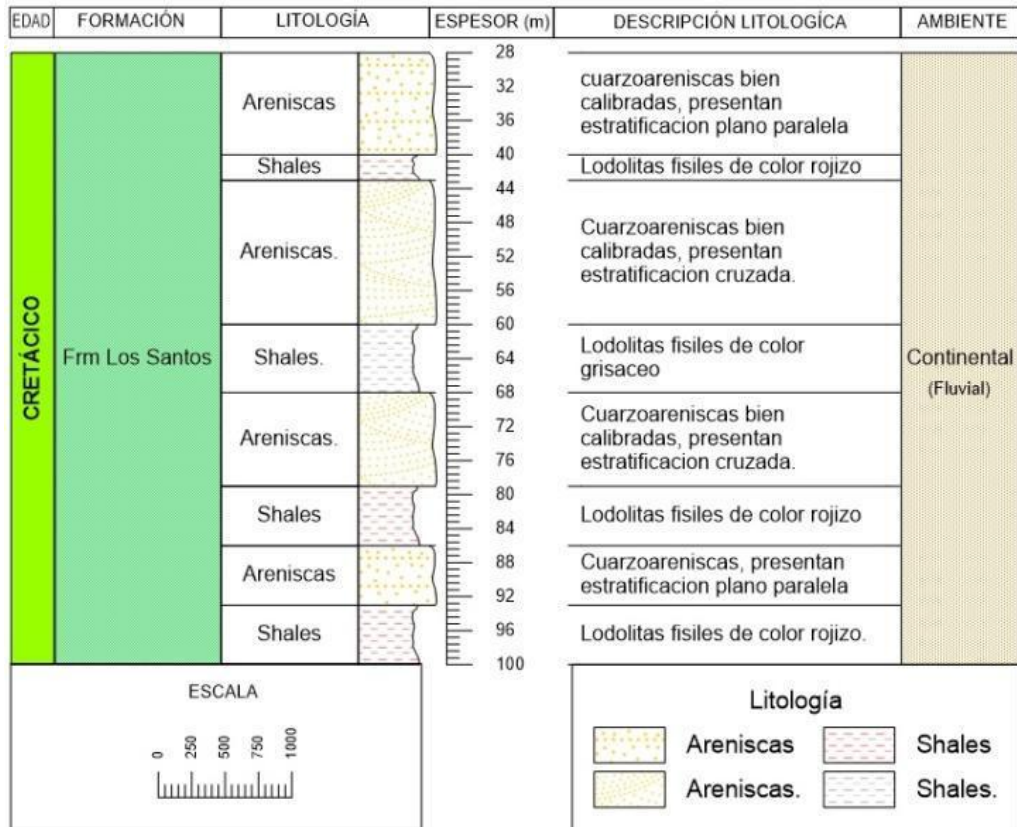
Según Morales (1958) en Cediél, (1968). El nombre de Formación Tambor fue dado por Hedberg (1931) a una sucesión de areniscas que aflora en el Cañón del Río Lebrija a lo largo del ferrocarril de Bucaramanga a Puerto Wilches, entre los kilómetros 92 y 93 (Cediél, 1968).

El termino fue revisado por Cediél (1968) quien le asignó por primera vez el nombre de Formación los Santos y propuso su sección tipo en el camino del Roto, que comunica la población de Los Santos con la población de Jordán; posteriormente fue redefinido por Laverde (1985) en su sección tipo.

Litología

Está constituida por areniscas conglomeráticas, lodolitas rojo grisáceas y cuarzo areniscas gris amarillentas, con estratificación cruzada, en capas tabulares de espesores variables (Figura 12). En la localidad tipo, el espesor es de 218 m Estas facies han sido interpretadas como depósitos fluviales acumulados por corrientes trenzadas (Clavijo, 1985; Laverde y Clavijo, 1985; Laverde, 1985).

Figura 7. Perfil estratigráfico de la Formación Los Santos.



Fuente: UT Conurbano.

El contacto inferior de esta unidad para algunos autores es discordante (Julivert, 1958; Langenheim, 1959; Navas, 1963) y para otros es transicional a concordante (Cediel, 1968; Clavijo, 1985; Laverde y Clavijo, 1985; Pinto, J., et al., 2008) con la Formación Girón. El contacto superior es concordante con la suprayacente Formación Cumbre (Royero y Clavijo, 2001).

Posición estratigráfica y edad

La Formación Los Santos es considerada de edad Berriasiano (Cediel, 1968; Etayo y Rodríguez, 1985) sin embargo Ward *et al.*, (1973) le asigna un intervalo de tiempo Valanginiano – Hauteriviano, determinada por fósiles.

Correlaciones

Litológicamente es comparable con la Formación Río Negro de la cuenca de Catatumbo - Maracaibo (Royero y Clavijo, 2001).

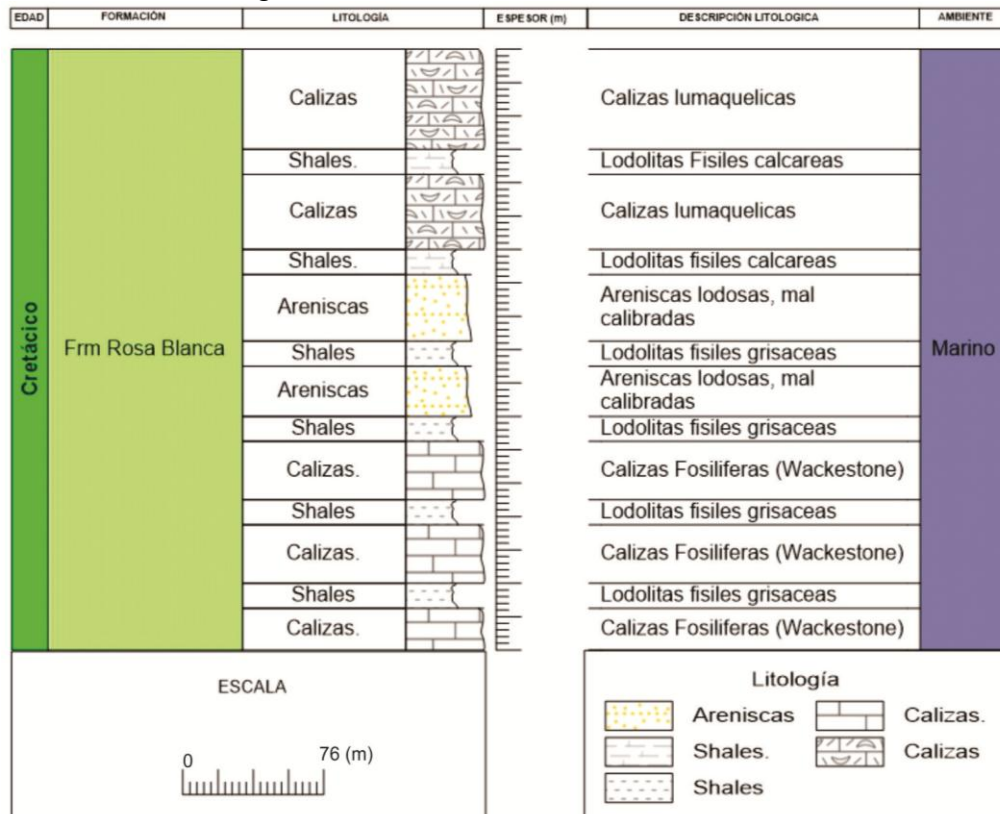
5.1.3 Formación Rosablanca (Kir - K1r)

Formación Rosa Blanca. Descrita originalmente por Wheeler (1929) y estudiada en detalle por Cardozo y Ramírez (1985) en la región de Villa de Leiva (Boyacá) y Gámbita (Santander) (Royero y Clavijo, 2001). Se encuentra ampliamente distribuida en el Departamento de Santander.

Litología

Está compuesta en su parte inferior por capas de caliza y yeso, con oolitos, ostrácodos y dolomías; hacia la parte superior consta de areniscas y lodolitas calcáreas (Figura 13). En la parte inferior presenta depósitos evaporíticos como yeso y polihalita que indican una hipersalinidad y tranquilidad en las condiciones de depositación; el resto de la secuencia se depositó en un medio marino somero en condiciones neríticas. El espesor varía de 150 a 425 m (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 8. Perfil estratigráfico de la Formación Rosablanca.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

Las relaciones estratigráficas de esta unidad con la infrayacente Formación Cumbre y la suprayacente Formación Paja son concordantes. La edad comprende el intervalo Valanginiano - Hauteriviano inferior (Etayo y Rodríguez, 1985).

Correlaciones

Litológicamente es comparable con la Formación Tibú - Mercedes de la cuenca Catatumbo-Maracaibo (Royero y Clavijo, 2001).

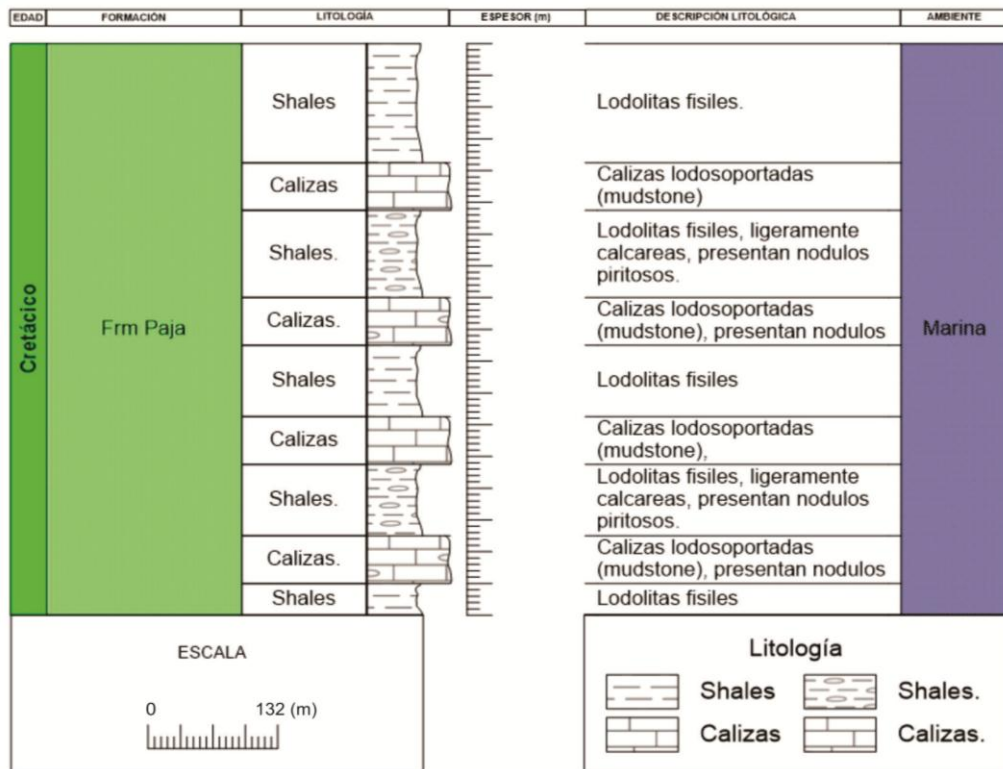
5.1.4 Formación Paja (Kip - K1p)

Inicialmente descrita por Wheeler en Morales, et al., 1958 (Royero y Clavijo, 2001). Su localidad tipo está en la quebrada la Paja, donde esta corriente entra al río Sogamoso 1 km aguas arriba del puente en El Tablazo (Ward et al., 1973).

Litología

Esta unidad está constituida por lutitas y shales gris oscuros a azulosos, fosilíferos, con intercalaciones de areniscas gris amarillentas, de grano fino, con algunas intercalaciones de shales grises, localmente arenosos, calcáreos, fosilíferos, localmente limosos a arenosos, con intercalaciones de areniscas gris amarillentas, de grano fino, también pequeñas intercalaciones de calizas grises, localmente arenosas, fosilíferas (Figura 9). Se estima que su depósito tuvo lugar en un ambiente epicontinental. El espesor varía entre 125 y 625 m (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 9. Perfil estratigráfico de la Formación Paja.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

El límite estratigráfico de esta unidad con la suprayacente Formación Tablazo es concordante. La edad ha sido determinada del Barremiano inferior al Aptiano inferior (Royero y Clavijo, 2001).

Correlaciones

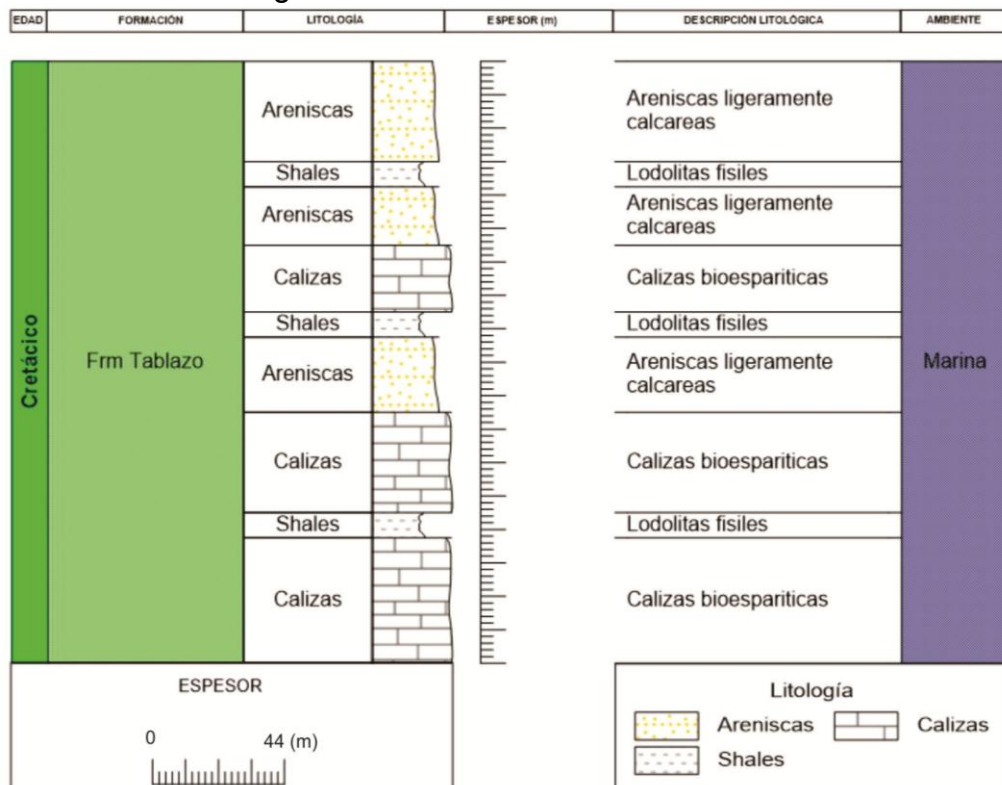
Se compara en parte con la Formación Tibú-Mercedes de la cuenca Catatumbo-Maracaibo (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.5 Formación Tablazo (Kit – K1t) Descrita por Wheeler en Morales, *et al.* (1958) en Royero y Clavijo (2001). La sección tipo se localiza en el sitio El Tablazo, donde la antigua carretera de Bucaramanga y San Vicente atravesaba el río Sogamoso (Ward et al., 1973).

Litología

La secuencia de esta unidad consiste en calizas gris a negras, fosilíferas, localmente glauconíticas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de areniscas grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas (Figura 10) (Royero y Clavijo, 2001). El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas, poco profundas. El espesor varía entre 150 y 325 m (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 10. Perfil estratigráfico de la Formación Tablazo.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

La Formación Tablazo se encuentra en contactos concordantes con la infrayacente Formación Paja y la suprayacente Formación Simití. Su edad es considerada del Aptiano superior – Albiano inferior (Royero y Clavijo, 2001).

Correlaciones

Esta unidad en parte es cronoestratigráficamente correlacionable con las formaciones Tibú-Mercedes y Aguardiante de la cuenca Catatumbo-Maracaibo (Royer y Clavijo, 2001).

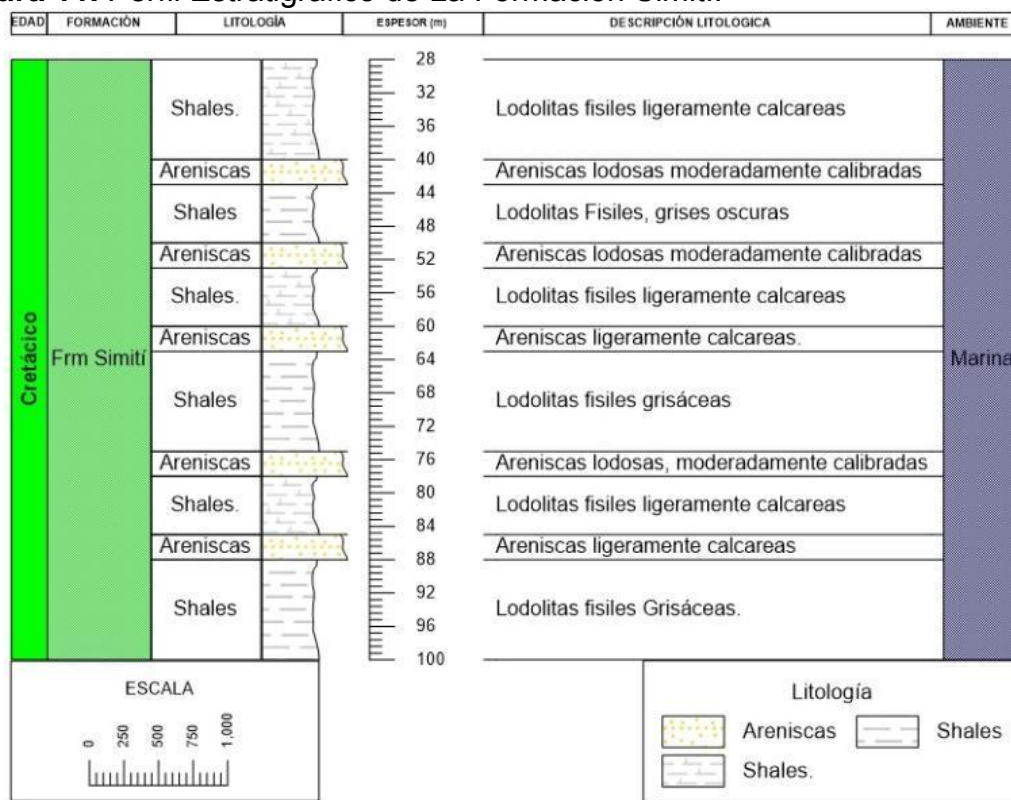
5.1.6 Formación Simití (Kis – K1s)

Fue descrita por geólogos de Intercol en Morales, et al., 1958 (Royer y Clavijo, 2001). Su localidad tipo está en la orilla sur de la Ciénaga de Simití.

Litología

La unidad consta de shale grises a negros, carbonosos, levemente calcáreos, con concreciones calcáreas hasta de 3 m y con intercalaciones de areniscas y calizas grises (Figura 11), localmente arcillosas y fosilíferas, en capas delgadas. Las condiciones paleoambientales fueron neríticas de aguas intermedias a profundas. Su espesor varía entre 250 y 650 m (Royer y Clavijo, 2001)..

Figura 11. Perfil Estratigráfico de La Formación Simití.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

Los contactos de la Formación Simití son concordantes con la infrayacente Formación Tablazo y suprayacente Formación La Luna. Su edad se ha establecido como Albiano superior – Cenomaniano (Royer y Clavijo, 2001).

Correlaciones

Se correlaciona con la Formación Capacho de la cuenca Catatumbo-Maracaibo (Royero y Clavijo, 2001).

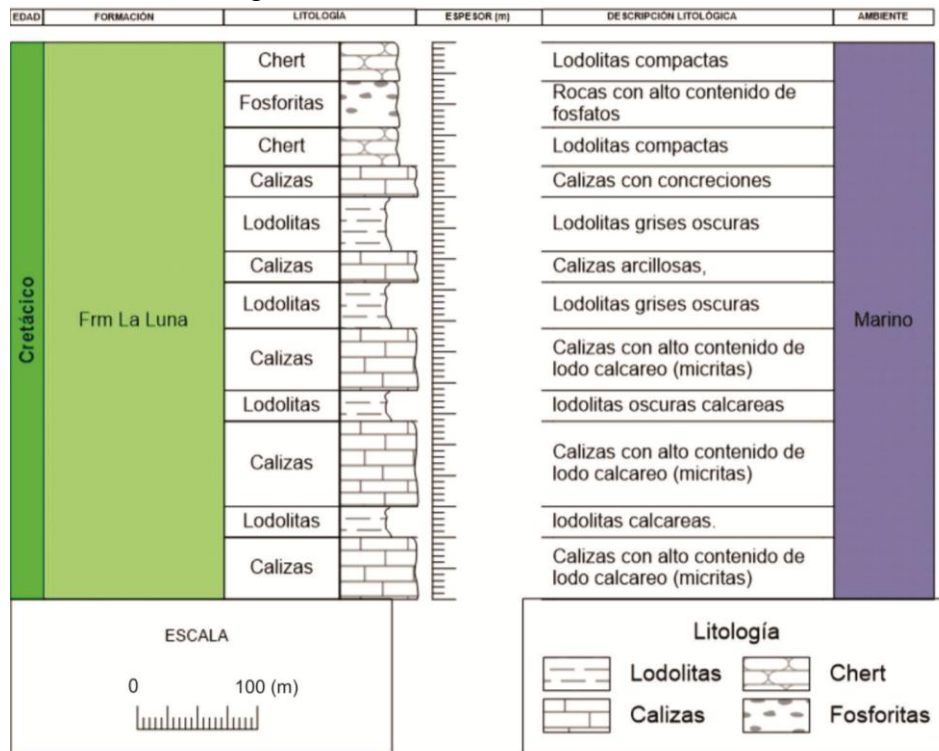
5.1.7 Formación La Luna (Ksl – K2l)

Esta unidad fue descrita inicialmente por A. Garner en 1926 (en Julivert *et al.*, 1968) y su nombre fue usado primero en la Serranía de Perijá, en la parte noroeste del Estado de Zulia, Venezuela (Ward *et al.*, 1973); y a causa de su amplia extensión regional, este nombre ha sido conservado en Colombia nororiental (Morales *et al.*, 1958), en donde el término fue introducido inicialmente por geólogos de la Caribbean Petroleum Company (Royero y Clavijo, 2001). En el Valle Medio del Magdalena, la Formación La Luna se subdivide en los miembros de la Salada, Pujama y Galembó, que fueron designados primero en un informe inédito de O.C. Wheelles por las quebradas Salada y Pujama y el Cerro del Galembó, todos los cuales se encuentran cerca de río Sogamos (Ward *et al.* 1973).

Litología

La secuencia de esta unidad está constituida por calizas gris oscuras, arcillosas, lutitas grises a negras, calcáreas, en capas delgadas, lutitas gris oscuras con delgadas intercalaciones de calizas arcillosas, concreciones de calizas con fósiles, que alcanzan más de dos metros de diámetro y capas delgadas de chert negro y también capas fosfáticas hacia la parte superior (Figura 12) (Royero y Clavijo, 2001). El ambiente de depositación es marino de aguas relativamente poco profundas, con poca ventilación en el fondo. El espesor varía entre 275 y 575 m. (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 12. Perfil Estratigráfico de la Formación La Luna.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

El contacto de la Formación La Luna con la infrayacente Formación Simití es concordante. Entre las formaciones La Luna y Umir existe una ligera discontinuidad estratigráfica (Morales *et al.*, 1958). En el Valle Medio del Magdalena le asignan una edad del Turoniano al Santoniano.

Correlaciones

Se correlaciona con la Formación La Luna de la Cuenca Catatumbo – Maracaibo (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.8 Formación Umir (Ksu – K2u)

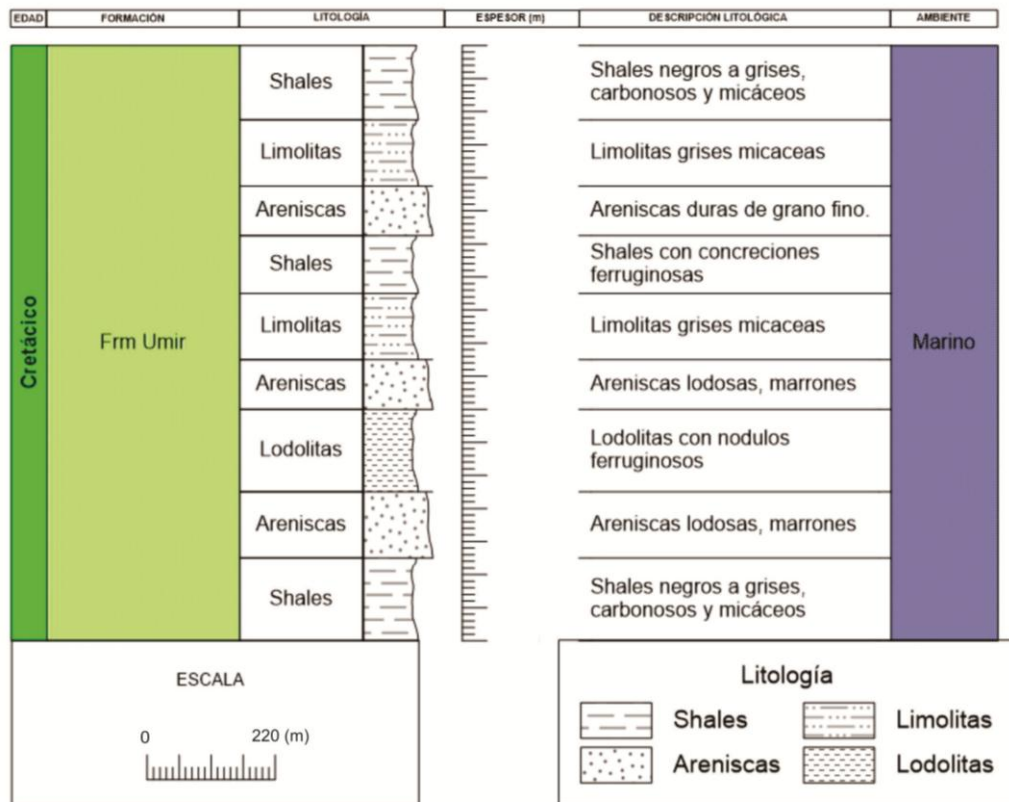
Según Taboada (1965) el nombre Umir probablemente lo usó primero L. G. Huntley 1917 (en Ward *et a.*, 1973), la localidad tipo se encuentra en la Quebrada Umir al oriente del cerro del mismo nombre en Santander (Royero y Clavijo, 2001).

Litología

La secuencia de esta unidad consta de shale grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas, lutitas grises a gris oscuras, carbonosas, con nódulos ferruginosos, intercalaciones de areniscas y limolitas, grises, carbonosas y micáceas (Figura 13). También es común la presencia de capas explotables de carbón de 0.60 a 5.00 m de espesor (Royero y Clavijo,

2001).

Figura 13. Perfil Estratigráfico de la Formación Umir.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

La Formación Umir es ligeramente inconforme sobre la Formación La Luna y se encuentra concordantemente con la Formación Lisama (Ward *et al.*, 1973). Según Morales *et al.* (1958), con base al contenido fósil como foraminíferos y amonitas encontrados en esta unidad, a la Formación Umir se le asigna una edad Campaniano – Maestrichtiano y posiblemente Daniano (en Ward *et al.*, 1973). Su ambiente de depositación es nerítico, con un espesor para esta formación entre 1.000 y 1.400 m (Royero y Clavijo, 2001).

Correlaciones

La Formación Umir se correlaciona con las Formaciones Colón y Mito Juan de la Cuenca de Maracaibo de Colombia y Venezuela (Ward *et al.*, 1973).

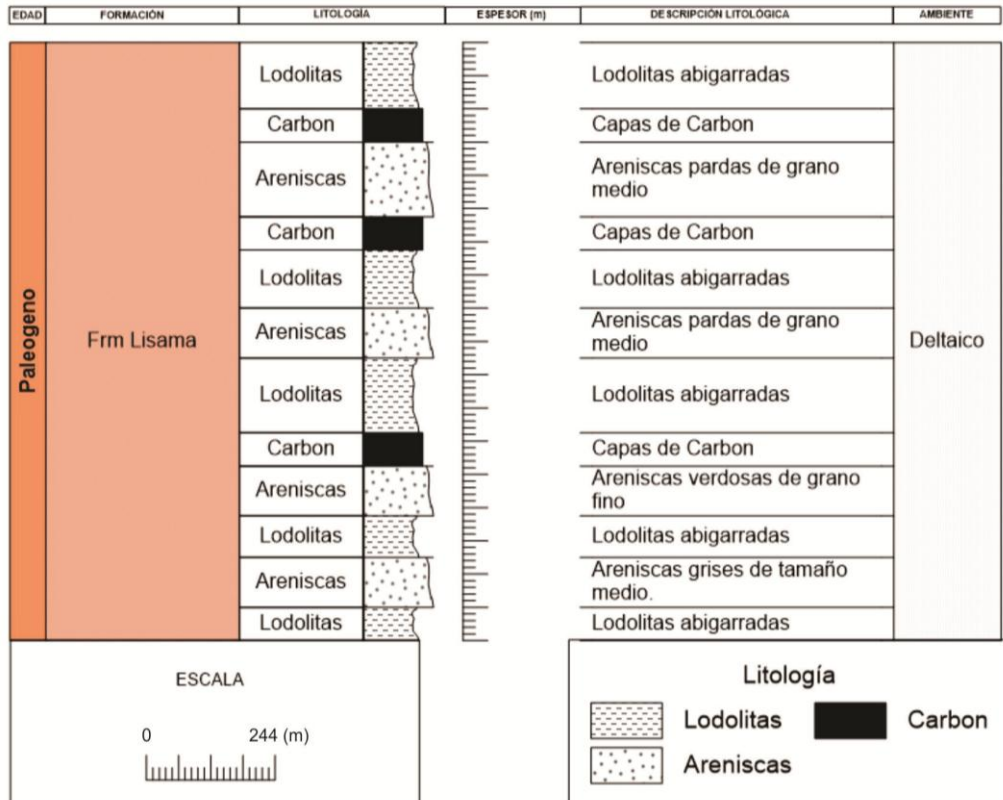
5.1.9 Formación Lisama (Tpl-E11)

Fue descrita originalmente por Link (en Morales *et al.*, 1958) y publicada por primera vez por Wheeler (en De Porta *et al.*, 1974) (en Royero y Clavijo, 2001). La sección tipo se encuentra en la quebrada del mismo nombre y queda justamente al sur río Sogamoso (Ward *et al.*, 1973).

Litología

La unidad se encuentra constituida por una secuencia de lutitas abigarradas, alternadas con areniscas grises, verdosas y pardas, de grano fino a medio y algunas capas delgadas de carbón (Figura 14). El depósito de estos sedimentos ocurrió en un ambiente bajo condiciones lagunares deltáicas (Royero y Clavijo, 2001) y su espesor alcanza hasta los 1.225 m (Morales et al., 1958).

Figura 14. Perfil Estratigráfico de la Formación Lisama.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

Presenta un contacto normal y transicional con la infrayacente Formación Umir, y su contacto con la Formación superior, Formación la Paz, está determinado por una discordancia regional bien marcada (Royero y Clavijo, 2001). Se le asigna una edad del Paleoceno (Van Der Hammen, 1958).

Correlaciones

Se ha correlacionado con las Formaciones Barco y Los Cuervos de la Cuenca de Catatumbo – Maracaibo. (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.10 Formación La Paz (Tel-E2I)

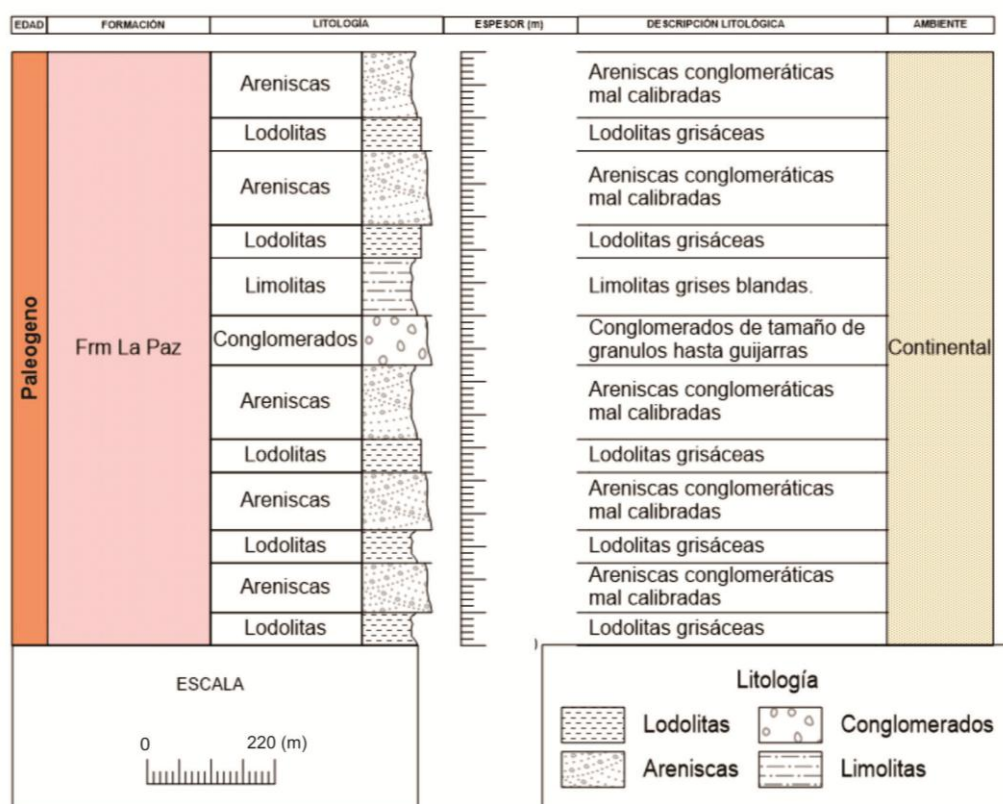
Los autores de esta unidad son los geólogos de la Tropical Oil Company

(Morales *et al.*, 1958, en Royero y Clavijo, 2001) y su sección tipo está en la angostura del río Lebrija, por la vía férrea, debajo de Vanegas.

Litología

La secuencia estratigráfica está compuesta por areniscas grises, conglomeráticas; conglomerados, limolitas y grande paquetes de lutitas grises (Figura 15). El depósito de estos sedimentos se desarrolló en un ambiente de corrientes trenzadas (Royero y Clavijo, 2001). La Formación La paz alcanza su espesor máximo en el área del río Sogamoso, Taborda (1965) menciona 1.280 m, medidos a lo largo del río (en Ward *et al.*, 1973), y presenta algunas variaciones locales (Royero y Clavijo, 2001) como en la quebrada La Putana que solo alcanza 460 m (Ward *et al.*, 1973).

Figura 15. Perfil Estratigráfico de la Formación La Paz.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

Se encuentra discordantemente con la Formación Lisama, unidad a la cual suprayace; y su contacto superior con la Formación Esmeraldas es concordante y transicional. Conforme a su posición estratigráfica, la unida se considera del Eoceno superior.

Correlaciones

Es correlacionable con la parte inferior de la Formación Mirador de la Cuenca de Catatumbo – Maracaibo (Royero y Clavijo, 2001).

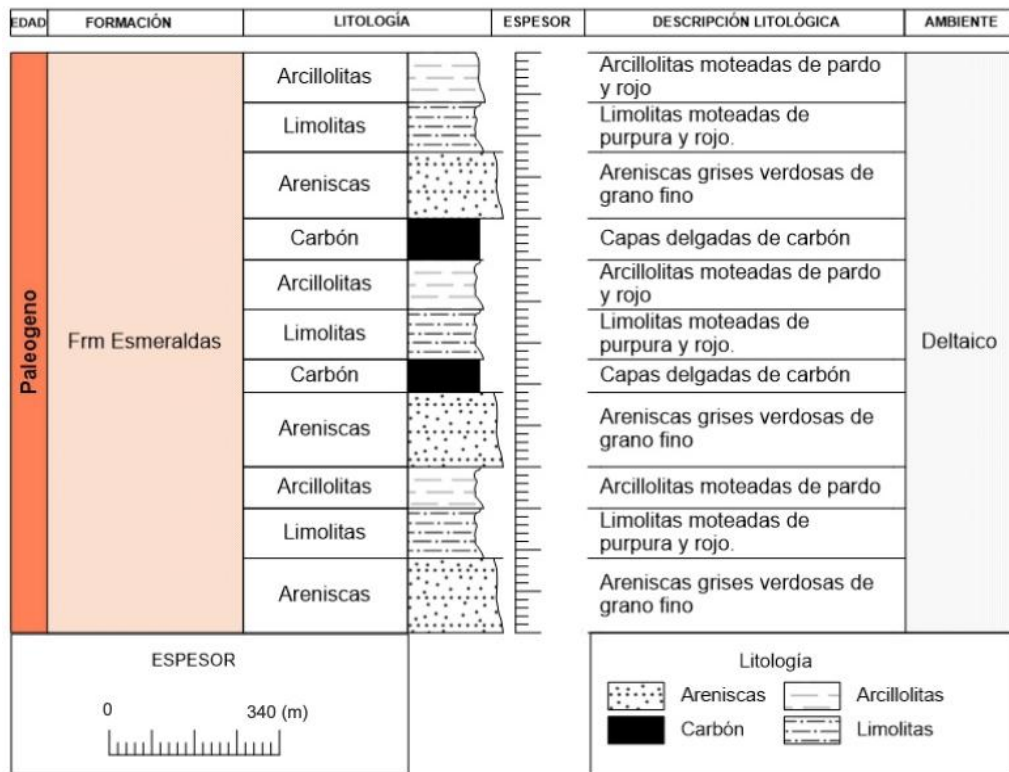
5.1.11 Formación Esmeraldas (Tee-E2e)

Término utilizado por primera vez por los geólogos de la Gulf Oil Company (Morales *et al.*, 1958 en Royero y Clavijo, 2001) y su sección tipo está cerca del caserío Esmeraldas, junto al Río Sogamoso.

Litología

Esta unidad se compone de areniscas grises y verdosas, de grano fino, con intercalaciones de limolitas y lutitas moteadas de rojo, púrpura y pardo; contiene algunas capas delgadas de carbón (Figura 16). El ambiente deposicional fue bajo condiciones lagunares deltaicas. El espesor se ha calculado en unos 1.200 m (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 16. Perfil Estratigráfico de La Formación Esmeraldas.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica

El contacto inferior con la Formación La Paz es concordante, mientras que el contacto superior está determinado por una posible discordancia con la Formación Mugrosa (Royero y Clavijo, 2001).

Correlaciones

La unidad es del Oligoceno. Es correlacionable con la parte superior de la Formación Mirador y parte inferior de la Formación Carbonera (Royero y Clavijo, 2001).

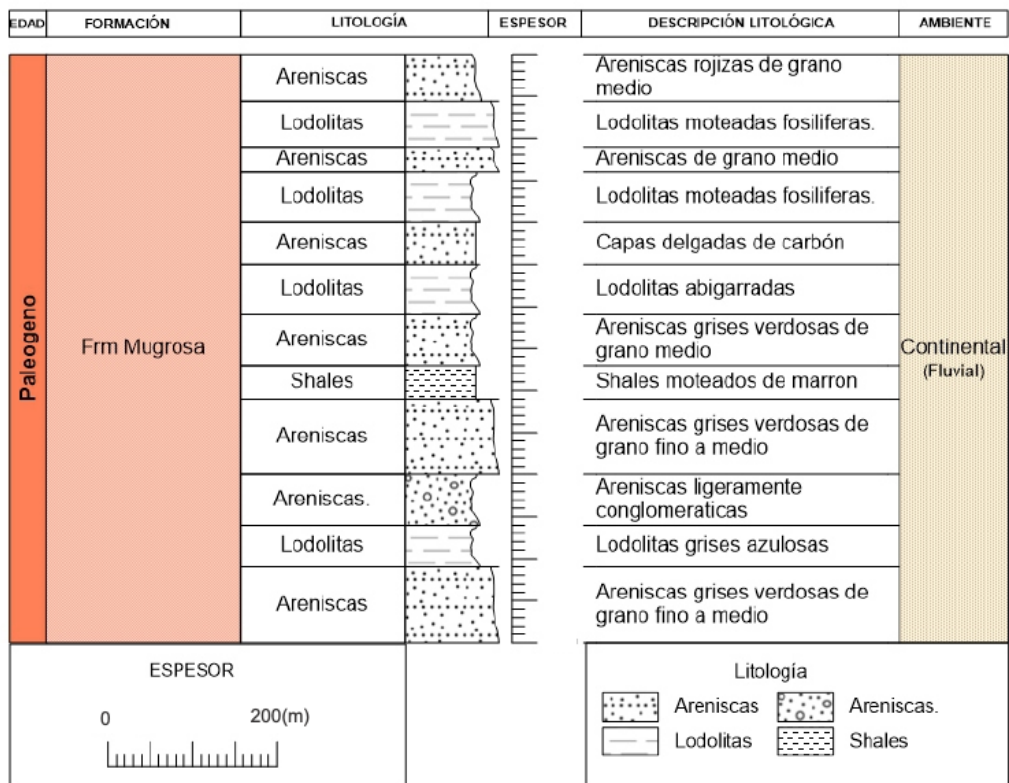
5.1.12 Formación Mugrosa Inferior y Superior (Tomi, Toms-E3mi, E3ms)

El nombre fue introducido por Gill (Morales, *et al.*, 1958 en Royero y Clavijo, 2001) y corresponde a la parte inferior del Grupo Chuspas; su sección tipo se encuentra en la Quebrada Mugrosa.

Litología

La unidad está compuesta en su parte inferior por areniscas gris verdosas, de grano fino a medio, con intercalaciones de lodolitas grises a azulosas y algunas capas de areniscas conglomeráticas. La parte media consta de shales moteados con algunas intercalaciones de arenisca. Hacia la parte superior hay lodolitas moteadas, fosilíferas (Figura 17). Es una de las unidades más productivas de petróleo en la Concesión de Mares. El ambiente de depósito se considera como continental fluvial. El espesor varía entre 500 y 800 m (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 17. Perfil Estratigráfico de la Formación Mugrosa.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

El contacto inferior de la Formación Mugrosa es aparentemente discordante con la Formación Esmeraldas, en tanto que el superior con la Formación Colorado es concordante. La unidad es considerada del Eoceno superior – Oligoceno inferior (Royero y Clavijo, 2001).

Correlaciones

La Formación Mugrosa se correlaciona con la Formación Mugrosa definida por los geólogos de Ecopetrol y de la Shell y con la parte inferior del Grupo Chuspas de las compañías Socomy y Richmond (Royero y Clavijo, 2001).

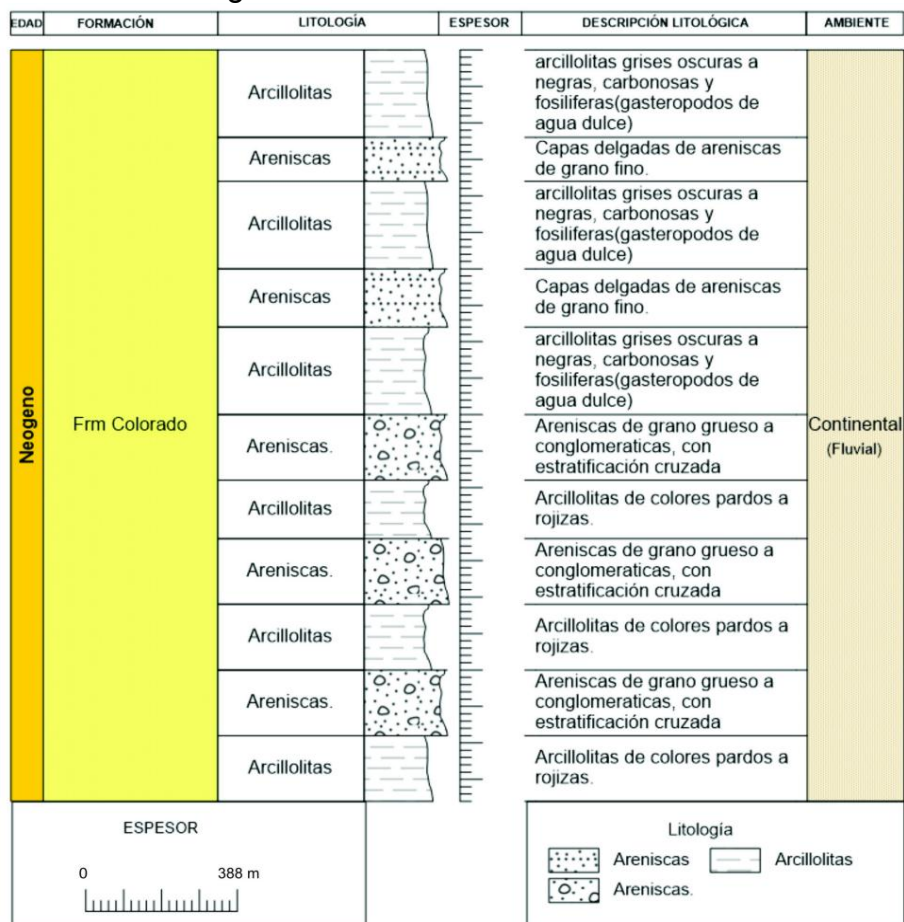
5.1.13 Formación colorado (Toc-N3c)

El autor es Gill (Morales, *et al.*, 1958 en Royero y Clavijo, 2001) y tiene su sección tipo en el Río Colorado en área de la Concesión de Mares. Esta unidad corresponde a la parte superior del Grupo Chuspas (Royero y Clavijo, 2001).

Litología

Consiste predominantemente en su parte inferior de arcillolitas pardo rojizas, con intercalaciones de areniscas, de grano grueso a conglomeráticas, en capas de espesor variable. La parte superior se compone de arcillolitas gris oscuras a negras, carbonosas, fosilíferas, con intercalaciones de arenisca, de grano medio, en capas delgadas (Figura 18). En el campo La Cira Infantas de la Concesión de Mares es una de las unidades más productivas de petróleo. Se considera que los sedimentos de esta unidad se depositaron bajo condiciones fluviales. El espesor es variable entre 1.200 y .500 m (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 18. Perfil Estratigráfico de la Formación Colorado.



Fuente: UT Conurbano.

Posición estratigráfica y edad

La Formación Colorado descansa concordantemente sobre la Formación Mugrosa y su contacto superior con el Grupo Real es discordante. La unidad es considerada como del Oligoceno superior al Mioceno inferior (Royero y Clavijo, 2001).

Correlaciones

Esta unidad se correlaciona con la Formación Colorado de Ecopetrol y con la parte superior del Grupo Chuspas de las compañías Socomy y Richmond (Royero y Clavijo, 2001).

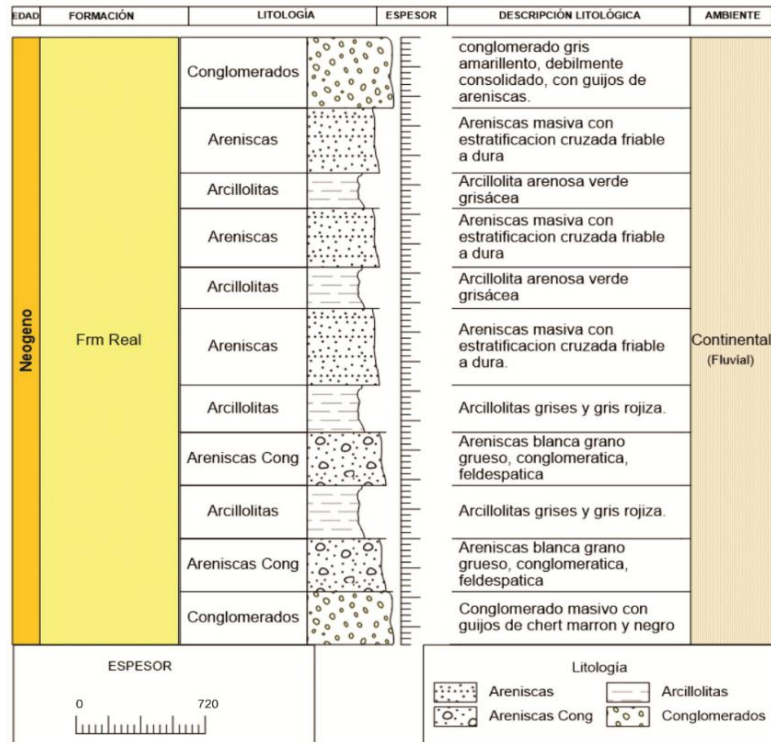
5.1.14 Formación Real (Tmr-N1r)

Nombre introducido por Wheeler procedente de los afloramientos que se encuentran en un sitio conocido como Bandera Real al norte del río Opón.

Litología

En el área de la plancha 119 del INGEOMINAS generalmente consta de capas gruesas de areniscas conglomeráticas con fragmentos líticos de finos a guijos con estratificación cruzada, intercaladas con areniscas medias a gruesas de areniscas cuarzosas tabulares, con matriz arcillosa y lodolitas silíceas friables de color gris y morado (Figura 19) (Memoria explicativa plancha 119 INGEOMINAS 2008).

Figura 19. Perfil estratigráfico de la Formación Real.



Fuente: UT CONURBANO.

Posición estratigráfica y edad

Estratigráficamente según Wheeler La formación Real esta discordante sobre el grupo Chuspas de la formación Colorado y debajo de la formación Mesa. Según Morales (1956) el contacto es definido por cambio de la naturaleza de las aguas de salado a dulce. Su edad por estudios palinológicos la sitúan en el Mioceno medio o superior. Fósiles de vertebrados y plantas que van del Oligoceno superior al Mioceno superior.

Correlaciones

La correlación de este es incierta.

5.1.15 Depósitos cuaternarios (Qtf, Qal)

En el departamento de Santander, los depósitos cuaternarios son muy variados en su origen y se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de los valles de los principales ríos y quebradas.

Entre los depósitos de mayor extensión se diferencian y representan a la escala del mapa geológico, tres unidades predominantes.

La unidad TQ está constituida por areniscas, limolitas y conglomerados débilmente consolidados como depósitos de origen fluvial, los cuales están representados por el grupo Mesa y la unidad Meseta de Bucaramanga, de edad pliocena-pleistocena; la unidad Qtf se encuentra compuesta por depósitos no consolidados aluviales en abanicos y terrazas, es considerada de edad Pleistoceno, y la unidad Qal está conformada por depósitos no consolidados de aluvión, coluvión, derrubios, glaciares, fluvio-glaciares, que son considerados de Holoceno. (Gutiérrez y Clavijo, 2001).

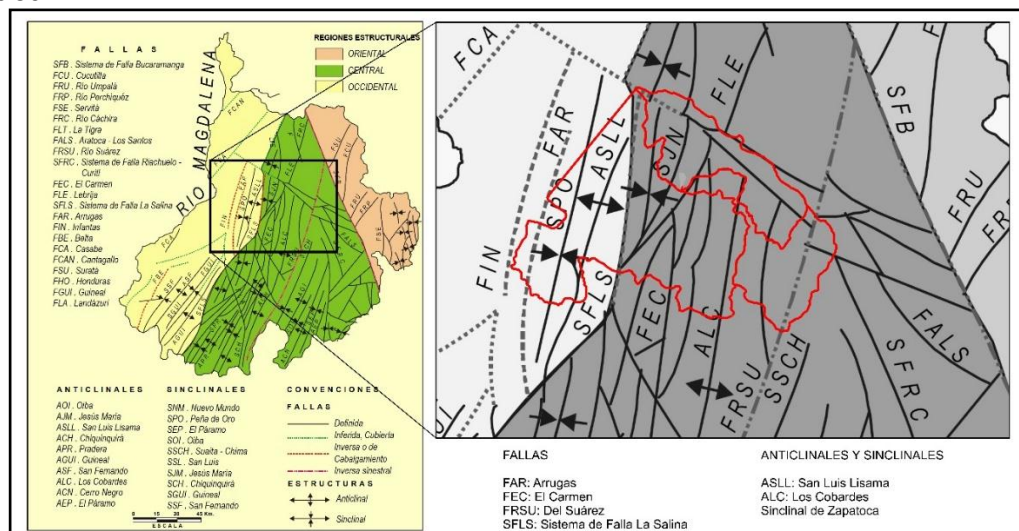
5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La geología estructural de la Cordillera Oriental se puede explicar a partir de dos estilos estructurales. El primero asociado a un despegue del basamento durante el Mioceno- Plioceno, dando como resultado retrocabalgamientos, y el segundo es el levantamiento de la cordillera oriental en el plioceno-holoceno generando fallas inversas. Estos dos estilos estructurales se sobre impusieron a grabenes del Jurásico y Cretácico temprano, cuyas fallas normales fueron parcialmente invertidas durante las etapas de deformación compresional. (Dengo y Covey, 1993 en Chacón y Palacios, 2014)

El territorio Santandereano se caracteriza por presentar tres estilos estructurales diferenciados, los cuales definen tres regiones estructuralmente bien definidas del departamento: un fallamiento en bloques en la región oriental; otro de plegamiento en la región central, y el graben del Magdalena, en la región occidental (Clavijo, *et al*, 1993).

Estructuralmente la región del Departamento de Santander de encuentra localizada entre el sistema de Fallas de Bucaramanga – Santa Marta, de rumbo NW-SE, ubicada al oriente de la zona, la cual tiene comportamiento sinistral y puede estar conjugado con desplazamiento inverso, así como las Fallas de Suarez con dirección NE y la de las Salinas al occidente, la cual tiene cinemática inversa y rumbo S-N. Esta región central se caracteriza por presentar pliegues anticlinales y sinclinales amplios, limitados por fallas inversas y de cabalgamiento, de direcciones NE-NW, con inclinaciones predominantes hacia el oriente (Figura 19) (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 20. Modelo estructural regionalizado del Departamento de Santander en donde se destacan los municipios de Zapatoca, Betulia y San Vicente de Chururí.



Fuente: Modificado de Vargas (1979); León, 1986; Clavijo *et al.* (1993). **Fallas:** SFB. Sistema de Falla de Bucaramanga, FCU. Cucutilla, FRU. Río Umpalá, FRP. Río Perchiquéz, FSE. Servitá, FRC. Río Cáchira, FLT. La Tigra, FALS. Aratoca – Los Santos, FRSU. Río Suárez, SFRC. Sistema de Falla Riachuelo –

Curití, FEC. El Carmen, FLE. Lebrija, SFLS. Sistema de Falla La Salina, FAR. Arrugas, FIN. Infantas, FBE. Belta, FCA. Casabe, FCAN. Cantagallo, FSU. Suratá, FHO. Honduras, FGUI. Guineal, FLA. Landázuri. *Anticlinales*: AOI. Oiba, AJM. Jesús María, ASLL. San Luis Lisama, ACH. Chiquinquirá, APR. Pradera, AGUI. Guineal, ASF. San Fernando, ALC. Los Cobardes, ACN. Cerro Negro, AEP. El páramo. *Sinclinales*: SMM. Nuevo Mundo, SPO. Peña de Oro. SEP. EL Páramo, SOI. Oiba. SSCH. Suaita – Chima, SSL. San Luis, SJM. Jesús María, SCH. Chiquinquirá, SGUI. Guineal, SSF. San Fernando.

5.2.1 Fallas

A continuación se describen las principales características de las fallas regionales, o más importantes que afectan el área de trabajo.

5.2.1.1 Falla de Bucaramanga:

Es el segmento sur del sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta y es el rasgo estructural más evidente y extenso, con 550 km de distancia (Díaz *et al.*, 2015), que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander. Presenta una dirección NW y es considerada como un sistema de fallas de rumbo con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado por Campbell (1965) y Tschanz, *et al.*, (1969, 1974) en unos 100 a 110 km.

En el sector de Bucaramanga existen índices geomorfológicos, que constituyen buenos indicadores del sentido de lateral izquierdo de la falla, como lo son lagunas (sagponds) y lomos de falla, lomos de obturación, silletas, cambios de pendiente, facetas triangulares, drenajes desplazados y desviados, interfluvios desplazados, trincheras de falla y, particularmente, abundantes lomos en gancho, entre otros.

Su trazo se encuentra aproximadamente a menos de 30 km al este del municipio de Zapatoca y es una de las principales estructuras tectónicas activas de Sur América (Díaz *et al.*, 2015).

5.2.1.2 Falla del Suárez:

La Falla Suárez se ha trazado sobre una distancia de 110 km desde el pueblo de la Paz en el Sur hasta el sector de Vijagual al norte a unos kilómetros de la ciudad de Bucaramanga, donde converge con la falla de este mismo nombre (Diederix *et al.*, 2008).

En el Municipio de Zapatoca el sistema de la Falla del Suárez se encuentra al occidente del Río Sogamoso y presenta algunos “splays” de baja importancia. Su trazo tiene una dirección NNE con inclinación al occidente, afectando rocas Jurásicas pertenecientes a la Formación Girón, y rocas Cretácicas de las Formaciones Rosablanca y Paja; al norte, en Bucaramanga, sedimentos de edad Cuaternaria, pertenecientes al Abanico de Bucaramanga.

Diederix *et al.* (2008) reporta que la Formación Girón ha cabalgado sobre sedimentos del abanico de Bucaramanga y en algunos sitios incluso sobre

depósitos de escombros recientes derivados de la Formación Girón y presumiblemente de edad Holocena. Lo anterior evidencia la actividad Pleistocena y probablemente actual de la Falla Suárez.

5.2.1.3 Sistema de fallas La Salina

Estructura de dirección general NE, con variaciones locales a NS y NW, pudiéndose reconocer su longitud desde su límite con Boyacá al sur hasta el norte del departamento de Santander (Royer y Clavijo, 2001). Constituye el límite entre el Valle medio del Magdalena y la Cordillera Oriental (Julivert, 1961). Al oriente de su trazo se presentan rocas del Cretácico superior y al occidente está en contacto con rocas terciarias (Royer y Clavijo, 2001).

5.2.2 Pliegues

A continuación se mencionan las características de los pliegues de carácter regional que afectan las formaciones geológicas pertenecientes a la zona de estudio, y los cuales se originaron principalmente durante las diferentes fases de la Orogenia Andina.

5.2.2.1 Anticlinal de los cobardes:

El Anticlinal de los Cobardes forma parte de las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental, es una estructura de una longitud aproximada de 80 km, ligeramente asimétrica, con su flanco oriental más inclinado que el occidental y cuyo eje presenta una dirección aproximada N10°E, (Royer y Clavijo, 2001).

5.2.2.2 Sinclinal de nuevo mundo:

Es una estructura de origen regional que afecta gran parte de la secuencia sedimentaria (principalmente desde el Triásico – Jurásico hasta el Oligoceno); el eje del Sinclinal tiene dirección NE-SW y en la superficie se ubica “cerca del flanco occidental, probablemente como resultado del fuerte levantamiento a lo largo del lado oriental de la falla de la Salina, la cual es considerada como su límite occidental. Hacia el sur del sinclinal se pueden apreciar que su eje está representado por la Falla la Putana, la cual desplaza el contacto entre las Formaciones Umir y Lisama. (Ward *et al.*, 1973).

5.2.2.3 Sinclinal de Zapatoca:

El sinclinal de Zapatoca es una estructura orientada en dirección SW- NE, que presenta una longitud de aproximadamente 13 Km. El sinclinal se extiende desde el sur del casco urbano del municipio de Zapatoca hasta el Río Sogamoso. El eje del sinclinal se orienta hacia el NE y presenta en su núcleo rocas del cretácico inferior, Formación Rosablanca (K1r) y Formación Paja (K1p) y Formación Tablazo (K1Ta); mientras que en sus flancos las rocas son de edades Jurásicas y Cretácicas, Formación Girón (Jg) y Formación Los Santos (K1Ls). El flanco Oeste se encuentra inclinado entre 18° - 30° SE y el flanco Este presenta una inclinación de 17° - 26° al NO. El pliegue en su parte norte sufre un fallamiento que modifica su forma, dicha falla se extiende a lo largo de la Quebrada Menzulí.

6. METODOLOGÍA

El principal objetivo de este proyecto es la recolección de los insumos de carácter geológico y geomorfológico, necesarios para la generación de los mapas de susceptibilidad de los municipios que comprenden el área de trabajo, para su posterior utilización en la generación del modelo de amenazas de los municipios.

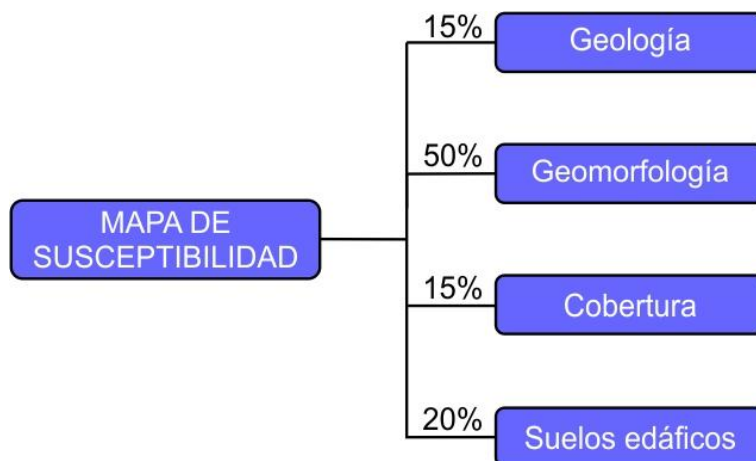
A continuación se explica de manera general como generar un modelo de amenazas totales a partir de los mapas de susceptibilidad, seguido de la metodología usada para poder llegar al producto final de la práctica.

Para generar un mapa de amenazas totales se parte de 3 escenarios; en donde según el Servicio Geológico Colombiano, en el DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA (2013), deben estar incluidos tanto los mapas de susceptibilidad como los diferentes factores detonantes que provocan un evento, dichos escenarios son y se calculan de la siguiente manera:

- Ec1: Primer escenario por factores climáticos; se debe tener en cuenta la suma de los pesos correspondiente al detonante en este caso los factores climáticos y la susceptibilidad. $Ec1: Af = S+Fc$
- Ec2: Segundo escenario por el factor sismo; se debe tener en cuenta la suma de los pesos correspondiente al detonante en este caso el factor sismo y la susceptibilidad. $Ec2: As = S+Fs$
- Ec3: Tercer escenario para cálculo de la amenaza total, donde se deben sumar el Ec1 y el Ec2. De tal manera que $Ec3: At = As+Af$

Teniendo en cuenta lo anterior, se entiende la necesidad de la generación del modelo de susceptibilidad, a partir de la asignación de pesos o porcentajes a los diferentes atributos que se requieren, los cuales son propuestos por el Servicio Geológico Colombiano, en el mismo documento mencionado anteriormente:

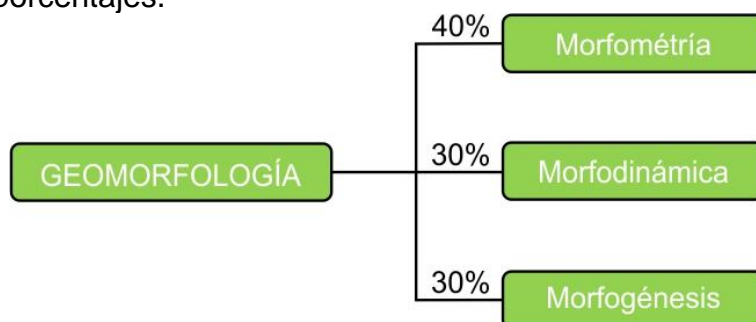
Figura 21. Diagrama de atributos para la elaboración del mapa de susceptibilidad.



Fuente: SGC (2013).

Donde la geomorfología con el mayor porcentaje, se debe realizar teniendo en cuenta unos valores porcentuales asignados a unos atributos que en conjunto conforman la geomorfología (Figura 22):

Figura 22. Diagrama de atributos dentro de la variable geomorfología, con sus respectivos porcentajes.



Fuente: SGC (2013)

Morfometría: Para el análisis morfométrico se utilizó la clasificación del terreno según su pendiente (Tabla 1), propuesta por el Servicio Geológico Colombiano.

Tabla 1. Clasificación del terreno según su pendiente.

INCLINACION (PORCENTAJE)	DESCRIPCION	RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL
0 – 3 %	Plano	muy blanda
3 – 7 %	Ligeramente Plano	Blanda
7 – 12 %	Moderadamente Inclínada	moderadamente blanda
12 – 25 %	Empinado	moderadamente resistente
25 – 50 %	Muy Empinado	Muy Resistente
50 – 75 %	Escarpada	Extremadamente Resistente
75 – 100 %	Muy Escarpada	Completamente Resistente

Fuente: Modificado de (Leiva et al., 2012)

Morfogénesis: Para la cartografía de las unidades morfológicas se tuvo en cuenta la propuesta de glosario para ambientes denudacional, estructural y fluvial, hecho por el Servicio Geológico Colombiano del año 2012, donde se describen cada una de las geoformas para cada uno de los ambientes.

Morfodinámica: La clasificación de los tipos de movimientos en masa se realizó en base a la propuesta por Varnes. (Varnes, 1978).

Tabla 2. Clasificación de movimientos en masa según Varnes (1978).

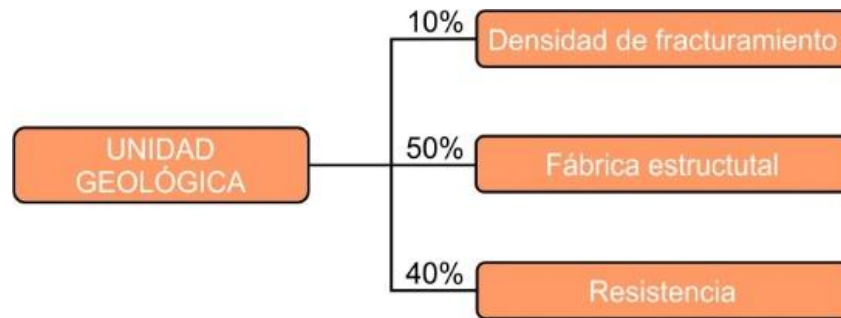
TIPO DE MOVIMIENTO			ROCAS	SUELOS INGENIERILES	
				GRUESOS	FINOS
CAÍDAS			caída de rocas	caída de detritos	caída de tierras
VOLCAMIENTOS			volcamiento de roca	volcamiento de detritos	volcamiento de tierras
DESLIZAMIENTO	Rotacional	roca homogénea	hundimiento de rocas	hundimiento de detritos	hundimiento de tierras
	Traslacional	heterogeneidad litológica	deslizamiento de bloques de rocas	deslizamiento de bloques deslizamiento de detritos	deslizamiento de bloques de tierras
PROPAGACIÓN LATERAL			de rocas	de detritos	de tierras
FLUJOS			flujo de rocas	flujo de detritos	flujo de tierras
MOVIMIENTOS COMPLEJOS			combinación de dos o más movimientos		

Fuente: Varnes (1978).

Formatos utilizados para la recolección de los inventarios de movimientos. (Ver anexos).

Al igual que la geomorfología, la caracterización geológica se evalúa respecto a la aplicación de estudios de ingeniería teniendo en cuenta unos atributos. (Figura 23).

Figura 23. Diagrama de atributos dentro de la variable geología, con sus respectivos porcentajes.



Fuente: SGC, 2012.

Resistencia: La clasificación de la resistencia de las rocas se realizó en base a la propuesta hecha por Hoke, 1996. (Tabla. 3).

Tabla 3. Categorías de resistencia a la compresión simple de las rocas, según Hoke (1996).

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

* Grade according to Brown (1981).
** Point load tests on rocks with a uniaxial compressive strength below 25 MPa are likely to yield high ambiguous results.

Fuente. SGC, 2012.

Y junto a esto se tuvo en cuenta la propuesta de calificación de las rocas dependiendo su fábrica y estructura. (Tabla 4)

Tabla 4. Propuesta de calificación de las rocas dependiendo de su fábrica y estructura.

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

Fuente. SGC, 2012.

Densidad de fracturamiento: En este atributo se analizan las principales estructuras geológicas que afectan la zona de trabajo, basados en lo observado en campo y lo mencionado en la bibliografía correspondiente.

Fabrica y/o estructura: A continuación se muestran los diferentes tipos de fábrica/estructura que se proponen en la guía metodológica propuesta por el Servicio Geológico Colombiano y las características que presentan las rocas dentro de cada división.

Tabla 5. Clasificación de las rocas según su textura/fábrica.

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.

Fuente. SGC, 2012.

A partir de esto se genera una calificación cuantitativa para las diferentes divisiones de fábrica/estructura. (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación cuantitativa de las rocas según su textura/fábrica.

Fabrica/estructura	
Atributo	Propuesta de Calificación
N/A	0
Cristalina Masiva	1
Cristalinas Bandeadas	2
Clásticas Cementadas	3
Clásticas Consolidadas	4
Cristalina Foliada y Rocas de falla	5

Fuente. SGC, 2012.

A partir de esto, se explica a continuación detalladamente la metodología seguida para obtener el resultado final, el cual involucra cuatro etapas o fases: fase de recopilación de información bibliográfica para el área de interés, análisis de la información, y unificación de metodologías, trabajo de campo, e integración de resultados. (Figura 23).

Figura 24. Fases metodológicas para el desarrollo del proyecto.



6.1 Fase de recopilación de información bibliográfica para el área de interés:

En esta fase se recolecto la información existente con respecto a los Municipios de Zapatoca, Betulia y San Vicente de Chucurí, la cual consta de documentos, planos e imágenes en general relacionadas con el área de estudio, dentro de los cuales están:

- EOT del Municipio de San Vicente de Chucurí y Planos EOT de geología del Municipio de San Vicente de Chucurí (INGEOMINAS, 2002, documentos en formato PDF, planos a escala 1:50.000).
- EOT del Municipio de Zapatoca y Planos EOT de geología del Municipio de Zapatoca (INGEOMINAS, 2002, documentos en formato PDF, planos a escala 1:50.000).
- Documento PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL DE BETULIA 2012-21015. (Alcaldía municipal de Betulia, 2012, documento en formato PDF).
- Acuerdo No 24/10/2003 para la ADOPCIÓN DEL EOT (Alcaldía municipal de Betulia, documento en formato PDF).
- EOT del Municipio de Betulia y planos EOT de geología del Municipio de Betulia (IGAC, 2003, documentos en formato PDF, planos a escala 1:50.000)
- Plancha geológica 120 Bucaramanga (INGEOMINAS, 1977, versión digital (2010) en formato PDF, escala 1:100.000).
- Plancha geológica 119 Barrancabermeja (INGEOMINAS, 1985, versión digital (2009) en formato PDF, escala 1:100.000).
- Memoria explicativa de las planchas 120 Bucaramanga y 109 Rio Negro, del cuadrángulo H-12 Bucaramanga (INGEOMINAS, 1973, documento en formato PDF).
- Memoria explicativa de las planchas 119 Barrancabermeja, (INGEOMINAS, 1979, documento en formato PDF).
- Fotografías aéreas de cada uno de los municipios.

6.2 Análisis de la información, y unificación de metodologías:

En esta fase, se hace una revisión de la información recopilada, para enfocarla al área de estudio y poder obtener un mayor entendimiento de la zona; como por ejemplo, la disposición de la secuencia estratigráfica y modelos estructurales propuestos, dando una mayor facilidad en la etapa de campo. Además se identificaron vías de acceso a los diferentes sectores de los municipios y se plantear futuros puntos de control a visitar.

6.3 Trabajo de campo:

El trabajo de campo consiste en la adquisición de datos, los cuales serán utilizados para elaborar los insumos a entregar a la empresa interesada (UT Conurbano).

Los parámetros a seguir dentro de esta fase fueron fijados por la empresa, donde se especificó que cada estación debería tener el componente geológico, geomorfológico, de cobertura y usos del suelo, y dado el caso la realización de inventarios de movimientos en masa y la clasificación de macizos rocosos.

Junto a esto se hizo la solicitud que diariamente se enviaran los puntos de localización donde se haya realizado las diferentes estaciones de trabajo de campo, y se fueran dibujando los mapas según como se iba avanzando, para ser enviados a la oficina y su posterior digitalización, incluyendo informes preliminares del componente geológico.

- **Libreta de campo.**
La libreta de campo se lleva según lo requerido por la empresa y siguiendo principalmente la guía TOMA DE DATOS EN LA LIBRETA DE CAMPO, propuesta por el Servicio Geológico Colombiano, 2003, donde se describen datos generales y de afloramiento.
- **Clasificación y descripción de muestras de campo.**
La clasificación textural y composicional de las rocas terrígenas se realiza según Folk (1974), mientras que para las rocas calcáreas se usa la clasificación propuesta por Dunham (1962). Se usa como libro base para la descripción de las muestras de campo La Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos de Cruz y Caballero (2007).
- **Identificación de las unidades litoestratigráficas.**
Para la identificación y caracterización de cada una de las unidades Litoestratigráficas, presentes en la zona de estudio, se hace necesario recurrir a la Memoria explicativa del Cuadrángulo H-12 en Ward et al., (1973) y a la memoria explicativa de Santander Clavijo y Royero (2001), donde están definidas las secciones tipo y se encuentra una descripción completa y detallada de cada una, lo cual es de gran ayuda para la diferenciación de estas en campo.
- **Identificación de estructuras.**
Para el estudio de la geología estructural de la zona tomamos como referencia a Martínez Catalán (2002/2003), donde encontramos conceptos básicos como definición de falla, clasificación de las fallas, asociaciones de fallas, representación cartográfica, reconocimiento de los elementos geométricos que las caracterizan, criterios de reconocimiento, Definición de pliegue y elementos geométricos, clasificación de pliegues de acuerdo con distintos criterios, asimetría, vergencia y cabeceo, representación cartográfica de los pliegues, junto a esto también se definen las diaclasas y las asociaciones entre ellas.

6.4 Integración de resultados

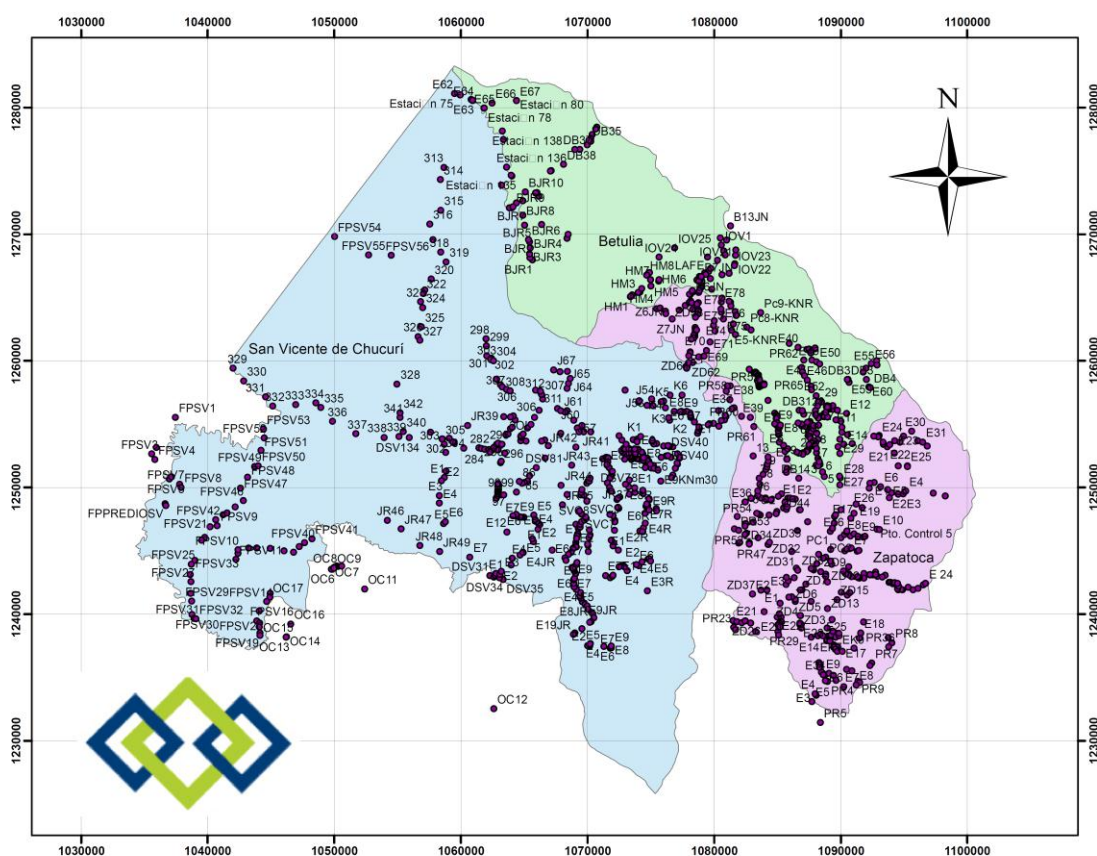
Esta fase consiste en una vez obtenidos los insumos necesarios para los modelos de susceptibilidad y amenazas, se hace una revisión tanto en campo

como en oficina, por un geólogo delegado por la empresa, con el fin de realizar la correcciones correspondientes y junto a esto, recopilar todos los datos obtenidos en campo, y así poderlos plasmar dentro de los informes finales que serán entregados a la empresa, e incorporados al informe final del proyecto.

7. RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos expuestos al principio de este trabajo, la metodología mencionada anteriormente y las descripciones de campo realizadas en cada estación (Figura 24), se muestran a continuación los resultados de los insumos requeridos para el estudio de amenazas por remoción en masa, relacionados con la geología y geomorfología, e inventarios de movimientos en masa encontrados en los tres municipios que comprenden el área de trabajo; lo correspondiente a cobertura y suelos edáficos, no son expuestos en este trabajo puesto que están por fuera del área de estudio de la geología.

Figura 25. Mapa de las estaciones realizadas en campo durante el proyecto.



7.1 GEOLOGÍA

Para la evaluación de los mapas geológicos obtenidos de los municipios, con el fin de estudios de ingeniería geológica; consideramos aspectos como, textura/fabrica, densidad de fracturamiento y la resistencia; como lo propone el Servicio Geológico Colombiano en su guía metodológica.

Según la categorización de resistencia a la compresión simple de las rocas propuesta por Hoke 1996, la cual se divide por rangos, en la zona de estudio se encuentran rocas desde rango 0 hasta rango 5, más exactamente se encuentran rocas desde extremadamente blanda como lo son las rocas más cercana a la falla del Suarez, observado principalmente en la Formación Girón, hasta cuarzoareniscas bien cementadas de la Formación los Santos y algunas calizas de las Formaciones Rosablanca y Tablazo.

7.1.1 Estratigrafía

El área de estudio se compone únicamente de rocas sedimentarias, donde se pueden diferenciar principalmente calizas, areniscas y arcillolitas, con esto podemos dar valores numéricos a las diferentes formaciones presentes en la zona, clasificándolas en Cristalinas Masivas, Clásticas Cementadas y Clásticas Consolidadas, respectivamente.

Según el documento metodológico del Servicio Geológico Colombiano, 2012, existen 5 tipos de textura/fabrica dependiendo del tipo de roca y a partir de esto se propone una calificación cuantitativa que va de 0 a 5.

A continuación se muestra tabla con los diferentes calificativos para las diferentes formaciones.

Tabla 7. Calificación cuantitativa de las rocas de cada unidad litoestratigráfica según la fábrica/estructura.

Fabrica/Estructura		
Formación	Atributo	Propuesta de calificación
Formación Girón	Clásticas Cementadas.	3
	Clásticas Consolidadas.	4
Formación Los Santos	Clásticas Cementadas.	3
Formación Rosablanca	Clásticas Consolidadas.	4

	Cristalina Masiva.	1
Formación Paja	Clásticas Consolidadas.	4
Formación Tablazo	Cristalina Masiva. Clásticas Cementadas.	1 3
Formación Simití	Clásticas Cementadas.	3
Formación La Luna	Cristalina Masiva. Clásticas Consolidadas.	1 4
Formación Umir	Clásticas Consolidadas.	4
Formación Lisama	Clásticas Cementadas.	3
Formación La Paz	Clásticas Cementadas.	3
Formación Esmeralda	Clásticas Consolidadas.	4
Formación Mugrosa	Clásticas Consolidadas.	4
Formación Colorado	Clásticas Consolidadas.	4
Formación Real	Clásticas Consolidadas.	4

7.1.1.1 Formación Girón (Jg).

La Formación Girón no presenta la misma litología a lo largo de toda el área, lo que hace que se comporte de manera diferente y presente diferentes resistencias a lo largo de la zona.

Las resistencias de esta formación varían desde rango 0 con las rocas más cercanas a la zona de Falla del Suarez al oeste del municipio de Zapatoca,

pasando por resistencias 3 y 4 presentes en esta misma zona donde se encuentran principalmente una intercalación de materiales competentes e incompetentes, compuesto de lodolitas y areniscas lodosas (Figura 23), esto es observado de igual manera al oeste del municipio de Zapatoca pero alejado de la zona de falla y cercano al contacto con la formación Girón.

Las resistencias más altas de la formación Girón se localizan hacia la serranía de los Yariguíes, donde se comporta principalmente como un material competente, formando altas pendientes, conformado principalmente por Areniscas conglomeráticas.

Figura 26. Secuencia de la parte media de la Formación Girón, compuesta por lodolitas y areniscas de color morado.

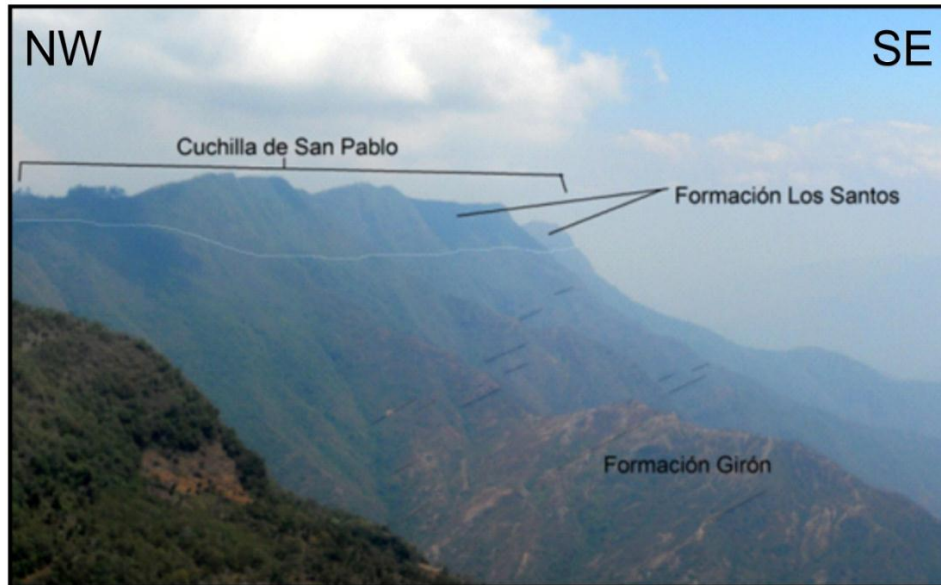


Fotografía tomada sobre el Pico de la Vieja (E:1097700 m, N: 1249452 m, Z: 1332 m.s.n.m.) mostrando la parte media de la Formación Girón, compuesta de capas de areniscas moradas intercaladas con lodolitas de color morado, **Fuente:** UT Conurbano.

7.1.1.2 Formación Los Santos (K1ls).

La formación Los Santos presenta una litología muy similar en toda su extensión en el área de estudio, se comporta como un material competente formando pequeños escarpes (Figura 24), presentando valores altos de resistividad en el rango 5, compuesta principalmente de cuarzoareniscas bien cementadas.

Figura 27. Localización de la Formación Los Santos sobre la Cuchilla de San Pablo en el municipio de Zapatoca.



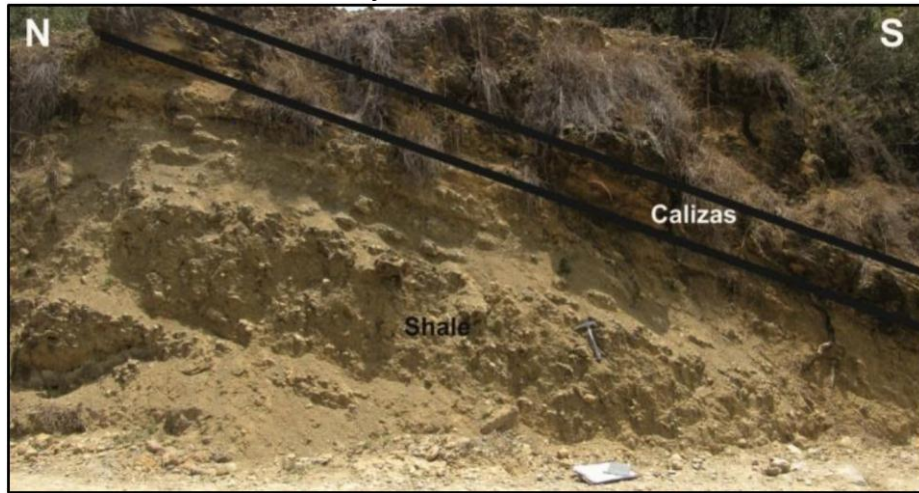
Fotografía tomada hacia el NE en el mirador de los Guanes (E: 1091851 m, N: 1243190 m, Z: 1943m.s.n.m.) donde se aprecia el alto topográfico que forma la cuchilla de San Pablo que genera el valle del río Sogamoso, se observa en el medio de la fotografía que los estratos de la formación Girón van en contra de la pendiente topográfica y luego a la derecha de la fotografía buzan a favor de la pendiente topográfica indicando que existe un anticlinal erosionado. Los estratos de la formación Los Santos al igual que su supra-yacente formación Girón en el tope de la cuchilla de san pablo buzan en contra de la pendiente topográfica. **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.1.3 Formación Rosablanca (K1r).

Al igual que la formación Girón, la formación Rosablanca no se comporta igual en el área de estudio, lo que hace que las resistencias varíen, se observó hacia la base paquetes potentes de calizas principalmente esparíticas (Figura 26), lo que nos indican valores altos de resistencia en los rangos 4 y 5.

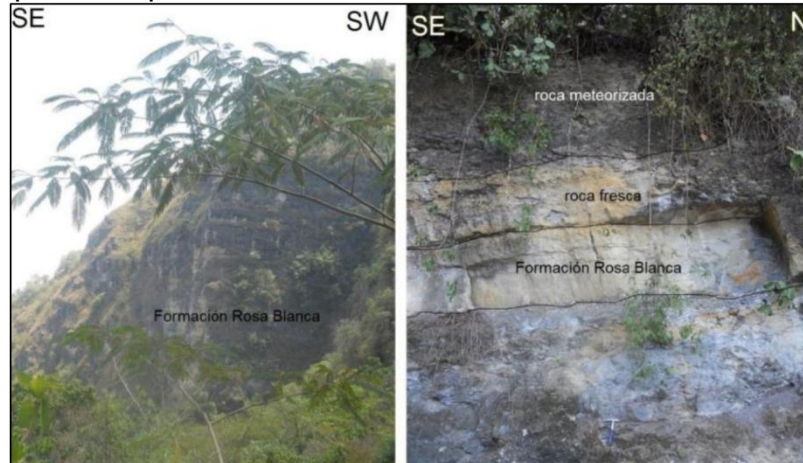
Hacia el tope se observa una alternancia de materiales competentes e incompetentes, representado en la intercalación de calizas micriticas y esparíticas con shales calcáreos (Figura 25), lo que hace que la resistencia de la roca sea menor a comparación de la base que se comporta principalmente como un material competente.

Figura 28. Secuencia de Shales y Calizas de La Formación Rosablanca.



Afloramiento sobre la vía que conduce de la vereda Santa Rosa a la Vereda La Unión (E: 1090756 m, N: 1246147 m, Z: 1658 m.s.n.m.). Se observa una secuencia de shale café intercalado con algunas capas delgadas de calizas y en la parte superior se aprecian calizas más competentes de color café. **Fuente: UT Conurbano.**

Figura 29. Afloramiento de la Formación Rosablanca en la vereda Las Puentes en el municipio de Zapatoca.



Al margen izquierdo de carretera a las minas de yeso 500m aprox. de la escuela Las Puentes (E: 1091866 m, N: 1242805 m, Z: 1737 m.s.n.m), en donde aflora una secuencia de estratos gruesos de 1 a 2 m de calizas fosilíferas lodo-soportadas (lodo calcáreo) bien cementados, esparíticas de color gris, calcita negra y gris como material cementante. La meteorización en estas rocas calcáreas genera una capa superficial sobre el afloramiento producto de la disolución por las aguas lluvia. La roca fresca se puede observar gracias a los desprendimientos de bloques caídas de roca que se generan por las diaclasas o fracturas del macizo rocoso. **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.1.4 Formación Paja (K1p).

Esta formación se observa principalmente a lo largo de toda la zona de estudio como un material incompetente, compuesto por paquetes potentes de shales calcáreos y no calcáreos (Figura 28), con delgadas intercalaciones de calizas micriticas, se observa formando principalmente topografías suaves (Figura 27), debido a esto los valores de resistencia son principalmente del rango 3.

Figura 30. Contacto entre la Formación Paja y la Formación Rosablanca sobre el Valle de la Quebrada Los Lobitos en el municipio de Zapatoca.



En esta imagen se aprecia una Geomorfología escarpada en los valles de las quebradas y del río Suarez al E del municipio de Zapatoca (E: 1095362 m, N: 1242079 m, Z: 621 m.s.n.m.), los valles son rectos típicos de litologías sedimentarias; generan crestas alineadas perpendiculares al cauce del río Suarez. También se aprecia al extremo derecho (al SW) un coluvión (Qco) erosionado formando surcos y cárcavas. **Fuente: UT Conurbano.**

Figura 31. Afloramiento de la Formación Paja en la vereda Santa Inés en el municipio de San Vicente de Chucurí.

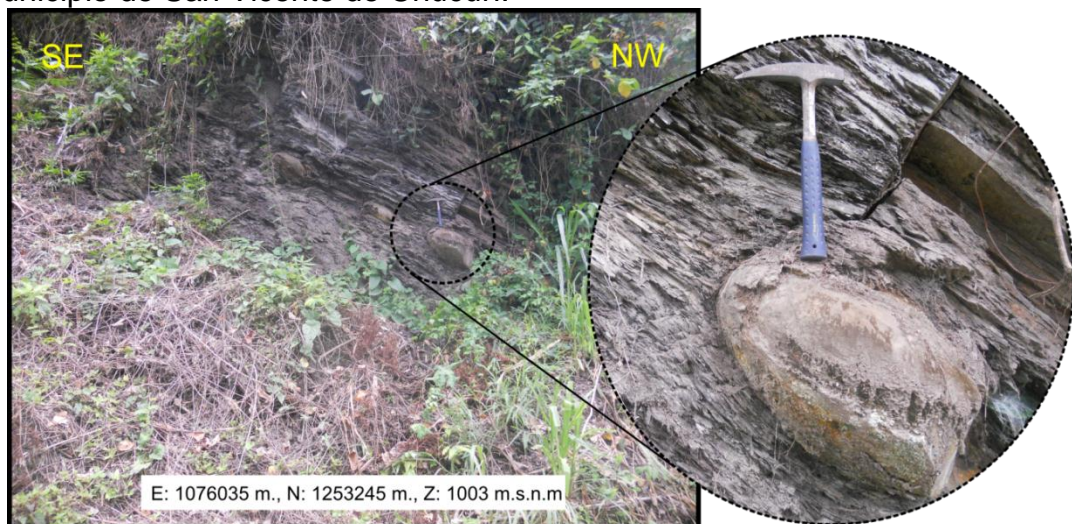


Imagen tomada al noreste del casco urbano de San Vicente, en la vía que conduce de la cabecera municipal de San Vicente de Chucurí a Zapatoca (Coordenadas E: 1076035 m., N: 1253245 m., Z: 1003 m.s.n.m.), sobre la vereda Santa Inés. Afloramiento compuesto por una intercalación de shale carbonoso de color negro muy rico en materia orgánica, con laminación plano paralela y nódulos calcáreos sin-sedimentarios, algunos con amonitas. Por sus características litológicas se denomina Formación Paja. Dato estructural (213/35). Geomorfológicamente este afloramiento se encuentra formando parte

de una ladera estructural anticlinal que forma las estribaciones occidentales del Anticlinal de los Cobardes. **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.1.5 Formación Tablazo (K1t).

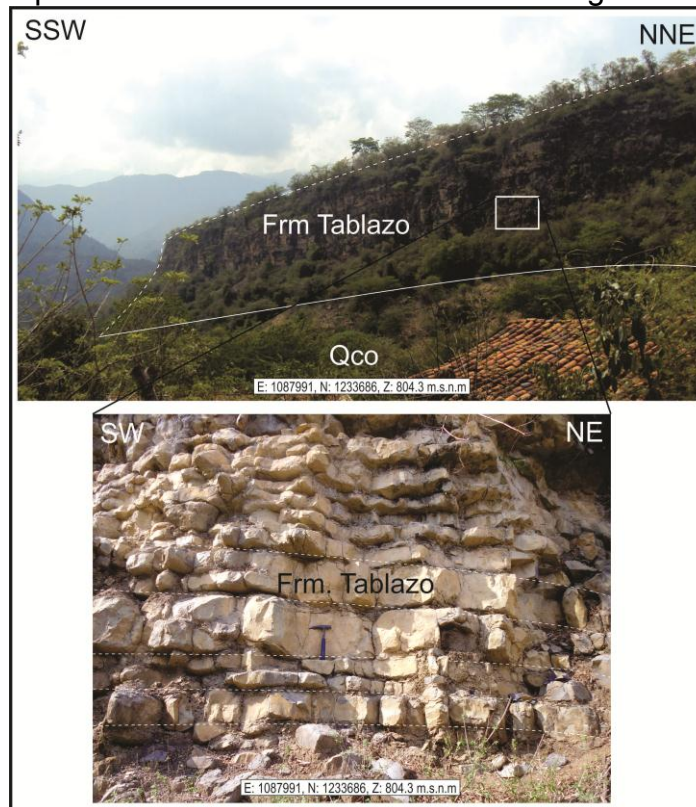
La formación tablazo se observó a lo largo de la zona de estudio con una litología predominante de materiales competentes, que consta de paquetes potentes de calizas esparíticas y micriticas (Figura 29), intercaladas con areniscas calcáreas y delgadas capas de shales, por lo cual presenta topografías de alta pendiente, lo que indica valores altos de resistencia principalmente en el rango 4, y en algunos sectores como lo observado en la vía hacia el corregimiento la fuente en Zapatoca (Figura 30), donde la cantidad de lodo es muy bajo, se pueden dar valores de resistencia en el rango 5

Figura 32. Afloramiento de la Formación Tablazo en la vereda San Agustín en el municipio de San Vicente de Chucurí.



Imagen tomada al suroeste del casco urbano de San Vicente, al costado de la vía San Vicente – El Carmen, (coordenadas E: 1069488 m N: 1249401 m., Z: 544 m.s.n.m.), en la vereda San Agustín. Afloramiento que consta de una intercalación de calizas esparíticas de geometría tabular de espesor variable con lodolitas calcáreas y calizas micriticas. Según esta litología y estratigrafía se denomina como la Formación Tablazo. Dato estructural (258/37). Geomorfológicamente se encuentra ubicado en una ladera estructural anticlinal (SGC, 2013). **Fuente: UT Conurbano.**

Figura 33. Escarpe de la Formación Tablazo en el corregimiento de La Fuente.



Escarpe de la Formación Tablazo ubicado al NE del corregimiento de La Fuente (E: 1087991 m, N: 1233686 m, Z: 804 m.s.n.m.), se observan capas de 20-40 cm de calizas gris claro intercaladas con capas delgadas de shale, dichas capas están en dirección N4E y buzando 5° hacia el NW. **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.1.6 Formación Simití (K1s).

La formación Simití está compuesta por paquetes potentes de material incompetente a lo largo de toda la zona de estudio, la cual consta de shales no calcáreos (Figura 31), intercalados con delgadas capas de caliza micrítica, forma topografías suaves, por lo tanto presenta valores de resistencia principalmente en el rango 3.

Figura 34. Afloramiento de la Formación Simití en la vereda La Plazuela en el municipio de Zapatoca.



Fotografía tomada sobre la vía que comunica al municipio de San Vicente de Chucurí con la ciudad de Bucaramanga, en la vereda La Plazuela (E: 1078265 m, N: 1264554 m, Z: 484 m.s.n.m.) En donde se tiene un afloramiento de shales de color negro en roca fresca y de tonalidades amarillentas en roca meteorizada. **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.1.7 Formación La Luna (K2I).

La formación la Luna se comporta de manera diferente en cada una de las zonas donde fue observada, donde varía la cantidad de material incompetente presente, una de las características principales de esta formación es que se encuentra muy fracturada y plegada (Figura 32), lo que hace que puedan variar los valores de resistencia para los diferentes materiales. Se observó una litología que consta principalmente de calizas, fosforitas, liditas y shales calcáreos.

Aunque en algunos sectores presenta paquetes potentes de material competente se asumen valores de resistencia baja debido a la complejidad estructural que presentan estas rocas mencionado anteriormente, con valores en el rango de 3 principalmente.

Figura 35. Afloramiento de la Formación la Luna.



Afloramiento mostrando capas delgadas de liditas, con alto fracturamiento dispuesto en su mayoría perpendicular a la estratificación. Coordenadas: E: 1086176 m; N: 1263906 m; Z: 442 m.s.n.m. **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.1.8 Formación Umir (K2u).

La formación Umir se caracteriza por presentar topografías suaves, debido a su composición, principalmente presenta paquetes muy potentes de materiales incompetentes, consta de shales calcáreos y no calcáreos (Figura 33), además se observaron shales carbonáceos en esta formación, y se intercala con capas delgadas de calizas y areniscas de grano fino. Se asumen valores de resistencia en el rango 3.

Figura 36. Afloramiento de la Formación Umir en la vereda Nuevo Mundo en el municipio de San Vicente de Chucurí.



Imagen tomada al oeste del casco urbano de San Vicente, en el lecho de la quebrada la Llana (Coordenadas: E: 1062308 m., N: 1252777 m., Z: 283

m.s.n.m.), sobre la vereda Nuevo Mundo. Afloramiento compuesto de capas potentes de shales grises y negros, intercalados con capas delgadas de areniscas de grano fino. **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.1.9 Formación Lisama (E1I).

Se caracteriza por presentar materiales competentes e incompetentes, principalmente consta de paquetes potentes de areniscas cuarzosas intercalado con capas delgadas de lodolitas violáceas (Figura 34), se observan pendientes relativamente altas, se asumen valores de resistencia en el rango 4.

Figura 37. Afloramiento de la Formación Lisama en la vereda Nuevo Mundo en el municipio de San Vicente de Chucurí.

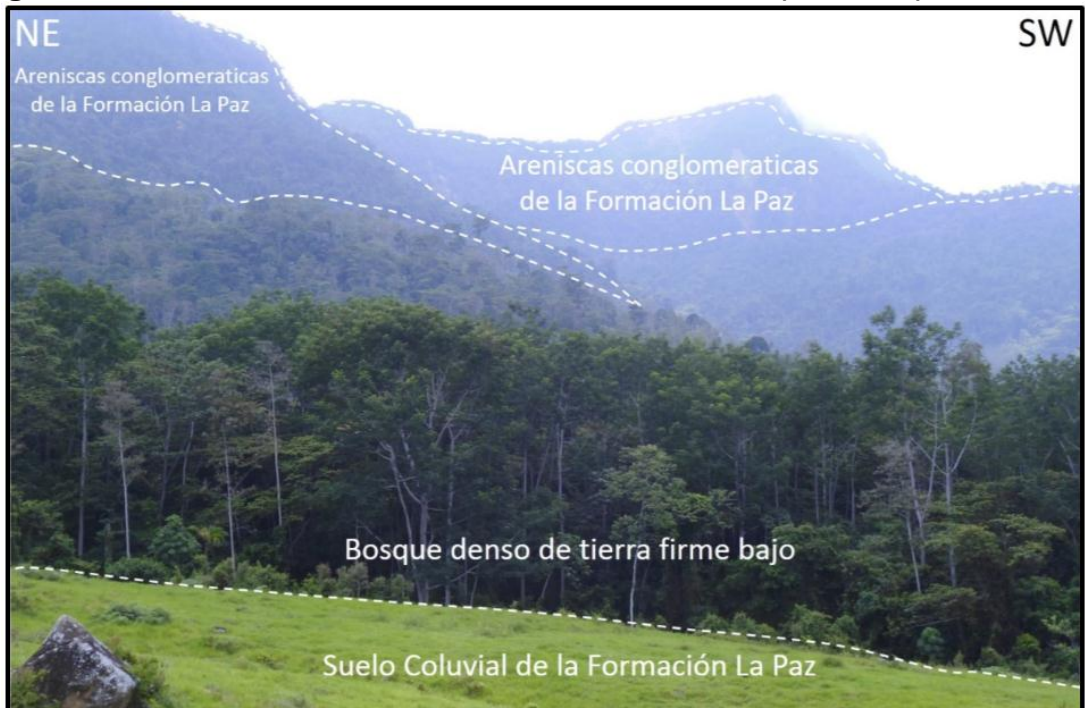


Imagen tomada al oeste del casco urbano de San Vicente (Coordenadas: E: 1062725 m., N: 1253223 m., Z: 327 m.s.n.m.), sobre la vereda Nuevo Mundo. Afloramiento de capas potentes de areniscas pardas de grano fino a medio, intercaladas con lodolitas violáceas, pertenecientes a la formación Lisama (E1I) **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.1.10 Formación La Paz (E2I).

La formación La Paz está compuesta principalmente por material competente, el cual consta fundamentalmente de capas gruesas de areniscas conglomeráticas, por lo general tiende a generar altos topográficos y escarpes (Figura 35). Se asumen valores de resistencia del rango 5, puesto que la cantidad de lodo en estas rocas es muy mínima.

Figura 38. Panorámica del Cerro de La Paz en el municipio de Zapatoca.



Panorámica tomada mirando hacia el Cerro de La Paz (E: 1074649 m, N: 1266098 m, Z: 335 m.s.n.m.) Se observan Cerros pertenecientes a la Fm. La Paz los cuales tienen difícil acceso. **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.1.11 Formaciones Esmeralda (E2e), Mugrosa (E3m), Colorado (N3c) y el grupo Real (N1r).

Estas formaciones se observaron hacia la parte más oeste de la zona de trabajo, ubicadas geológicamente hacia el sinclinal de Nuevo Mundo y en la zona de influencia del Valle Medio del Magdalena, en esta zona se encuentran muy pocos afloramientos de estas formaciones y en su mayor parte se encuentran muy alteradas presentándose como suelos residuales, por tal motivo estas formaciones se agrupan en un mismo rango en los valores de resistencia, se asumen dentro del rango 1 como un material muy blando.

Figura 39. Suelo residual de la Formación Colorado en la vereda Puerto Rico en el municipio de San Vicente de Chucurí.



Imagen tomada en la vereda Puerto Rico (Coordenadas: N: 1252909 m., E: 1044212 m., Z: 114 m.s.n.m). Mostrando suelos residuales limosos de colores rojizos dando una topografía ondulada de la formación Colorado. **Fuente UT Conurbano.**

Figura 40. Suelo residual de la Formación Real en la vereda Puerto Rico en el municipio de San Vicente de Chucurí.



Imagen tomada al norte del corregimiento de Yarima (Coordenadas: N: 1251671 m., E: 1044012 m., Z: 112 m.s.n.m) en la vereda Puerto Rico. Se observan colinas residuales las cuales toman colores rojizos a naranjas por la vía de Yarima a salir a la carretera principal que conduce a Medellín,

pertenecientes a la formación Real donde se encuentran suelos areno limosos.
Fuente: UT Conurbano.

7.1.1.12 Depósitos Cuaternarios (Qal, Qcol, Qtf).

Según Hoke (1996) los depósitos cuaternarios en general arrojan valores de resistencia menores de 10 Kg/cm².

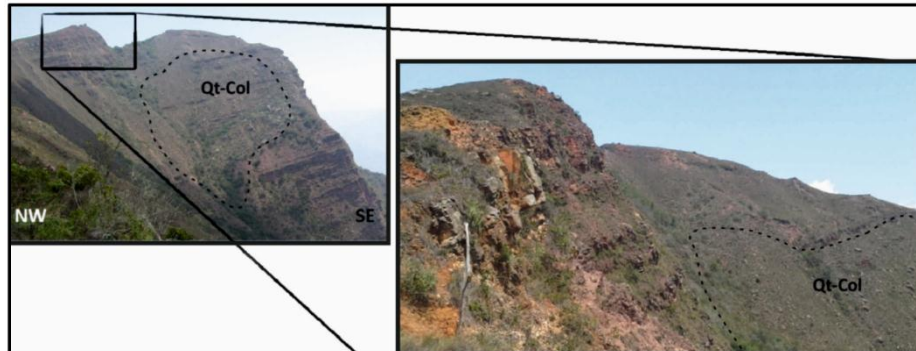
Por eso en este trabajo se hace necesario la delimitación de todos los depósitos cuaternarios en el mapa geológico. (Ver anexos).

Figura 41. Coluviones localizados sobre la Formación Girón, en la vía Zapatoca - Bucaramanga.



Fotografía de la vía Zapatoca – Bucaramanga (E: 1096515 m, N: 1253560 m, Z: 1087 m.s.n.m.). Se muestran los coluviones depositados a ambos lados de la carretera, conformados por grandes bloques pertenecientes a la Formación Girón y algunos bloques de la Formación Los Santos, identificados por su alto contenido de cuarzo y bajo contenido de matriz. **Fuente: UT Conurbano.**

Figura 42. Coluvión localizado sobre el Pico de la Vieja en el municipio de Zapatoca.



Fotografía del pico a Vieja (E: 1094972 m, N: 1249465 m, Z: 1693 m.s.n.m.), mostrando el coluvión localizado al Oeste del pico. **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.2 Geología estructural

A continuación se muestran los resultados de las principales estructuras regionales que afectan la zona de estudio, lo cual se debe tener en cuenta en la generación de los mapas de susceptibilidad, puesto que el comportamiento de las rocas puede variar en las zonas más cercanas a estas. (Ver anexos).

7.1.2.1 Fallas

- Falla de Suarez:

La Falla del Suarez se ha considerado como una estructura de cinemática inversa, hacia la zona Este del municipio de Zapatoca pone en contacto a la Formación Rosablanca (K1r) y la Formación Girón (Jg), así como también, a la Formación Paja (K1p) con la Formación Girón (Jg). La Falla fue evidenciada por medio de fotografías, teniendo en cuenta las características que presenta cada formación al verlas de lejos y también, mediante indicadores cinemáticos como pliegues y estrías.

Figura 43. Vista del trazo de la Falla del Suarez desde el Mirador de los Guanes en el municipio de Zapatoca.



Panorámica tomada desde el mirador de los Guanes, Vía que conduce a las minas de yeso (coordenadas E: 1091851 m; N: 1243190 m., Z: 1943 m.s.n.m.) sobre el límite entre las veredas Las Flores y San pablo. Se observa la panorámica del cañón del rio Sogamoso una geomorfología escarpada, valles escarpados de las quebradas Platalanillo o Seca, y la quebrada Las Peñas que drenan el rio Suarez. También se muestra el trazo NE de la falla del Suarez. En frente se ven las minas del toro de la mesa de los santos que también una geomorfología de mesas generando también un escarpe que baja al río.

Fuente: UT Conurbano.

Figura 44. Trazo de la Falla de Suarez, vista desde el Pico la Vieja en el municipio de Zapatoca.



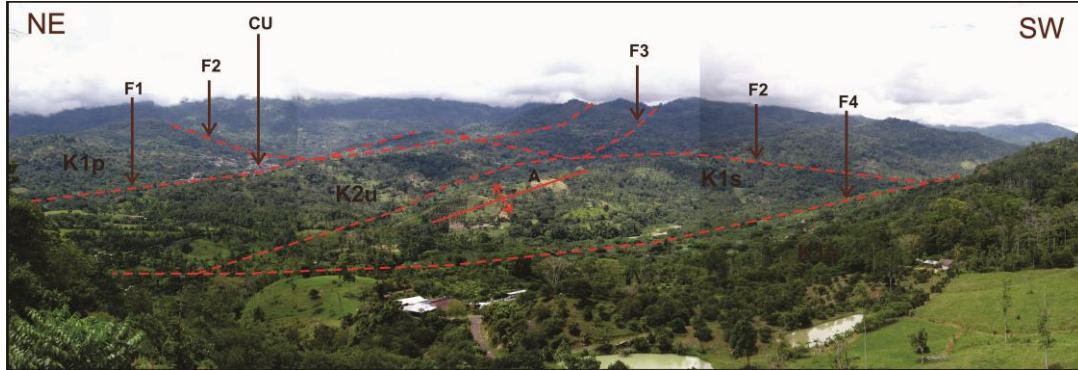
Fotografía tomada desde el Pico de la Vieja (E: 1097353 m, N: 1249133 m, Z: 1292 m.s.n.m.) en donde se muestra el trazo de la falla del Suarez, colocando en contacto a la Formación Rosablanca y la Formación Paja con la Formación Girón. La imagen fue tomada desde el Pico La Vieja. La falla es evidenciada por el cambio de tonalidad en las rocas y los cambios de rumbo de los estratos.

Fuente: UT Conurbano.

- Sistema de fallas asociadas al área plegada y fallada de San Vicente: Durante la visita de campo hacia el oeste de la Falla San Vicente se observaron varias fallas inversas y de rumbo noreste asociadas al

cabalgamiento y retrocabalgamiento del área plegada y fallada de San Vicente que hacen que se me repitan las unidades del cretácico.

Figura 45. Fallas alrededor del casco urbano del municipio de San Vicente de Chucurí.



Panorámica tomada al noroeste del casco urbano (CU) del municipio (Coordenadas: E: 1069568 m., N: 1254872 m., Z: 709 m.s.n.m), desde la Vereda Palestina. Panorámica a la llamada “Área fallada y plegada de San Vicente” (Ward *et al.*, 1973), en donde se evidencian la Falla de San Vicente (F1) que deja en contacto a la Frm. Paja (K1p) y Frm. Umir (K2u), el contacto fallado (F2) entre las Formaciones Umir y Simití (K1s), una Falla transversal (F3) y la Falla del Río Chucurí (F4) que pasa por valle del Río Chucurí; además pliegue de tipo anticlinal (A) en la Frm. Simití (K1s). **Fuente: UT Conurbano.**

- Falla de Betulia

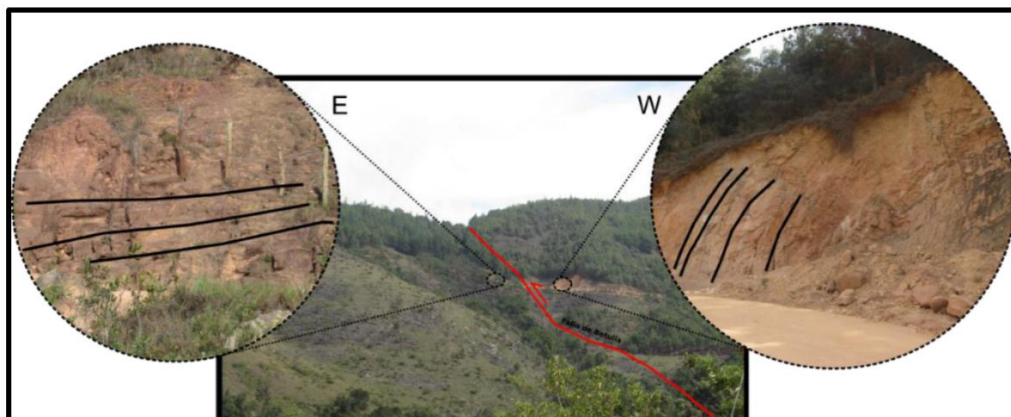
La falla de Betulia es una estructura con orientación NE –SW que se extiende desde el sur del municipio de Betulia en la vereda Unión Sur, pasa por la cabecera municipal controlando el curso de la Quebrada la Betuliana hasta truncarse al norte con el Río Sogamoso. La falla de Betulia no está compuesta por un solo trazo, sino se trata de combinación de diversos trazos alineados que en algunas zonas presenta comportamiento normal y genera el basculamiento de bloques, y en ciertas zonas presenta comportamiento inverso, generando truncamiento de capas y brechamiento.

Figura 46. Panorámica del Mirador de la Virgen, en el que se observa el comportamiento Normal de la Falla de Betulia.



Afloramiento ubicado en el Sector del Mirador de la Virgen, hacia el Este de la Cabecera Municipal, cerca de la Vía Betulia – Bucaramanga. Se observa el Basculamiento y Hundimiento del bloque más al, ocasionado por la Falla de Betulia. (E: 1088504 m; N: 156751 m; Z: 1718 m.s.n.m.). **Fuente: UT Conurbano.**

Figura 47. Afloramientos en los que se evidencia el comportamiento Inverso de la Falla de Betulia.



Afloramientos ubicados en la Vía Betulia – Zapatoca, a unos 600 m de la salida del Municipio de Zapatoca. Se observa el truncamiento de la capas a lado y lado de la Falla de Betulia. (E: 1087526 m; N: 1253353 m; Z: 1982 m.s.n.m.). **Fuente: UT Conurbano.**

- Falla de Zapatoca:

La zona este del municipio de Betulia está marcada por la quebrada Zapatoca, alineada NE –SW, El lineamiento de la quebrada Zapatoca marca un límite estructural en la zona. Este límite hace que las capas de la Formación Los Santos que se ubican al Oriente de este, bajen con respecto a las mismas capas ubicadas al Occidente, por tanto este límite estructural se propone como una falla normal.

Figura 48. Panorámica de la Falla de Zapatoca.



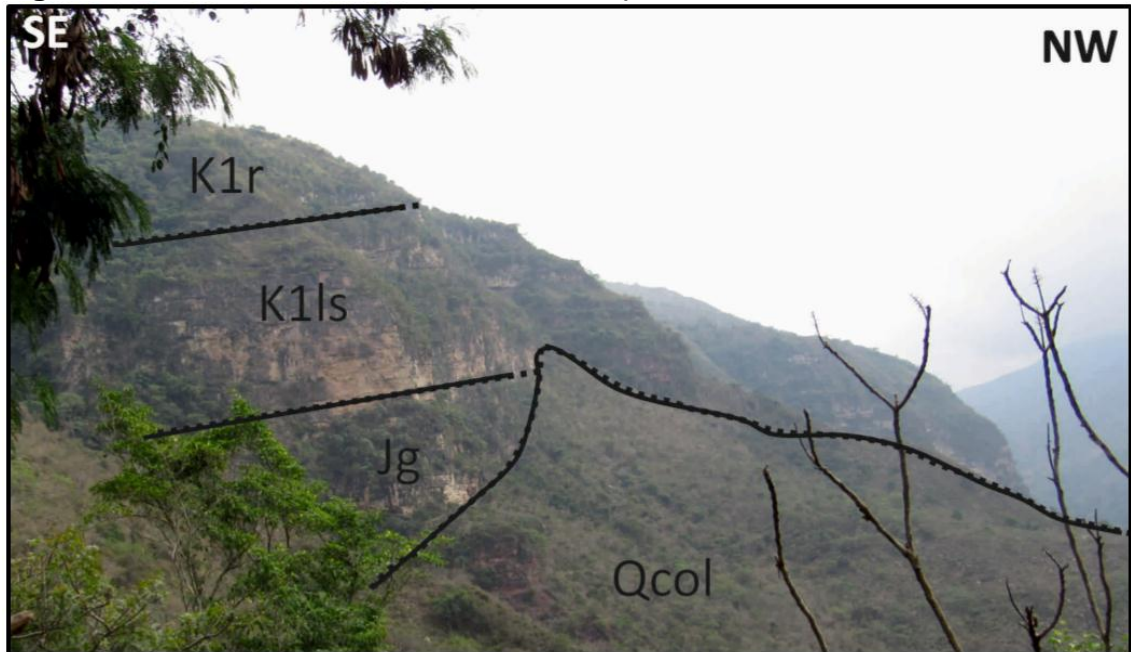
Fotografía tomada al SE del casco urbano del municipio de Betulia, en la vereda San Isidro (: E: 1090280 m; N: 1253390 m; Z: 1340 m.s.n.m.). Se observa como las capas ubicadas al NE, bajan con respecto a las capas ubicadas más al SW. **Fuente: UT Conurbano.**

7.1.2.2 Pliegues

- Sinclinal de Zapatoca:

El Sinclinal de Zapatoca se localiza en la zona Este del municipio de Zapatoca. Es una estructura asimétrica, que presenta el flanco Este más inclinado con respecto al Oeste y presenta una deformación en su zona norte debido a la falla que pasa por la Quebrada Menzuli. Los flancos están conformados por las formaciones Girón, Los Santos y Rosablanca; el núcleo es conformado por la Formación Rosablanca, y en algunas zonas se presenta la Formación Paja y la Formación Tablazo. La ausencia de las dos últimas formaciones en la mayoría de las zonas del sinclinal se debe a la litología de la que están compuestas, ya que los shales tienden a sufrir mayor erosión.

Figura 49. Flanco Oeste del Sinclinal de Zapatoca.

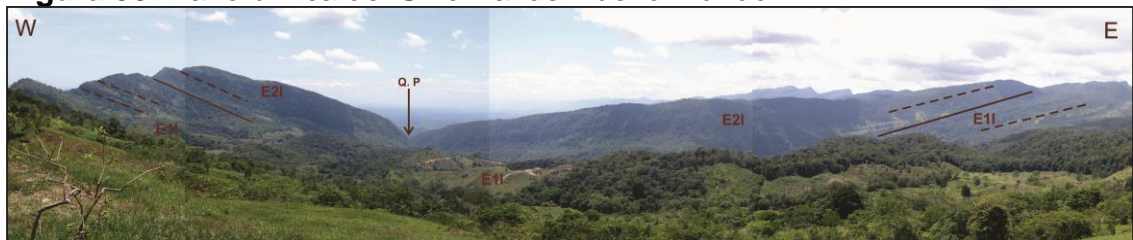


La imagen fue tomada desde la vereda San Isidro, ubicada al N del casco urbano del municipio de Zapatoca (E: 1092636 m, N: 1254036 m, Z: 1019 m.s.n.m.). Se muestra la secuencia del flanco Oeste del sinclinal de Zapatoca, cubierto en la parte inferior por un coluvión. La Secuencia de base a tope corresponde con la Formación Girón, la Formación Los Santos y la Formación Rosablanca. **Fuente: UT Conurbano.**

- Sinclinal de Nuevo Mundo

El sinclinal de Nuevo Mundo se ubica al NW del municipio de San Vicente de Chucurí, como una estructura amplia limitada al oeste por la falla la salina que levanta el flanco oeste y al este por fallas La Putana y otras que levantan su flanco este, está conformado principalmente por rocas del Paleógeno como las formaciones Lisama, La Paz, Esmeraldas, Mugrosa y Colorado, su eje tiene una dirección aproximada NE

Figura 50. Panorámica del Sinclinal de Nuevo Mundo.



Panorámica tomada al este del casco urbano de San Vicente de Chucurí (Coordenadas: E: 1067007 m., N: 1261708 m., Z: 807 m.s.n.m.), desde la vereda Porvenir. Se pueden observar ambos flancos del Sinclinal de Nuevo Mundo, el contacto entre las Formaciones La Paz (E1) y Lisama (E2) y el valle de la quebrada La Putana (Q.P). **Fuente: UT Conurbano.**

7.2 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología describe las formas del relieve, estudia su origen y evolución, su conocimiento es de gran importancia en lo relacionado con la planificación del uso de la tierra y el proceso de ocupación de territorio. Es una herramienta útil para definir limitantes y potencialidades sociales, económicas y ambientales en los municipios.

Para lograr una adecuada división de las unidades geomorfológicas en la región, se hace necesario analizar el origen de las diferentes unidades de paisaje, el estudio de las formas de las laderas, los procesos de tipo denudativo, y del análisis y mapeo de las formas de tipo estructural que imperan sobre el relieve, esto es conocido con el nombre de morfogénesis, y morfométria.

Las geoformas y la dinámica que genera el modelado de superficie ayudan a determinar las preferencias en distribución de los asentamientos y de las actividades económicas humanas, la influencia de las cadenas montañosas en la localización y relaciones entre los asentamientos, los fenómenos de erosión y remoción de masa que condicionan las posibilidades de construcción de infraestructura.

7.2.1 MORFOMÉTRIA:

En este análisis morfométrico se utilizó como unidad de referencia a la pendiente del terreno. (Ver anexos).

7.2.2 MORFOGÉNESIS:

Los municipios presentan en su superficie geoformas de diferentes orígenes los cuales se clasifican de acuerdo a los procesos naturales que ocurren y predominan en cada sector. Según la metodología del Servicio Geológico Colombiano (2012), dichas unidades morfogenéticas son predominantemente denudacional, estructural, fluvial y Kárstico.

7.2.2.1 Geoformas de origen denudacional.

Se refiere a las geoformas producto de la meteorización de las masas de rocas continentales expuestas y al desgaste del regolito resultante, por acción combinada de las fuerzas de desplazamiento y de los agentes geomorfológicos, con la consecuente remodelada y paulatina reducción de la superficie terrestre. (Leiva *et al.*, 2012)

- Cimas (Dc): Crestas convexas planas y amplias, presentadas como franjas bordeando algunas divisorias de aguas, sus pendientes son planas a inclinadas con anchos entre 200 a 800 m, se limitan por laderas que pueden ser moderadas a escarpadas (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 51. Panorámica en la Vereda Piedras Blancas, en el municipio de Zapatoca, evidenciando cimas y su disposición con otras geoformas.



Fotografía tomada en la vereda Piedras Blancas, en la zona este del municipio de Zapatoca (E: 1084673 m. N: 1244103 m, Z: 2396 m.s.n.m.), en donde se puede observar en la parte alta una Cima (Dc), en la parte intermedia oeste se tienen laderas inclinadas (Dli) y en la parte este espolones estructurales (Spe), y hacia la parte inferior depósitos coluviales (Dco). **Fuente: UT Conurbano.**

- Depósitos coluviales (Dco): Producto de acumulación de materiales (suelo residual y/o fragmentos de roca) transportados por la acción de la gravedad de zonas puntuales ligeramente más elevadas, presentan formas irregulares con pendientes leves a moderadas. (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 52. Panorámica en la vereda Nuevo Mundo, en el municipio de Zapatoca, mostrando depósitos coluviales.



Fotografía tomada en la vereda Nuevo Mundo hacia la quebrada que lleva su

afluente en sentido NS hacia la quebrada la Pao (E: 1085349 m, N: 1239342 m, Z: 1512 m.s.n.m.) en donde principalmente se tienen depósitos coluviales (Dco) y escarpes de línea de falla (Slfp) ubicados sobre la quebrada inicialmente mencionada. **Fuente: UT Conurbano.**

- Escarpe de erosión mayor (Deem): Escarpe de corto a largo, con altura mayor de 20 m, cóncavo, convexo y eventualmente recto, cuya pendiente va de escarpada a muy escarpada; formado por socavación lateral fluvial o erosión remontante a los largo de un drenaje mayor (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 53. Panorámica en la vereda el Batán, en el municipio de Zapatoca, mostrando un escarpe de erosión mayor.



Fotografía tomada en el costado W del río Sogamoso, en la vereda el Batán, SE del municipio de Zapatoca (E: 1091400 m, N: 1234646 m, Z: 583 m.s.n.m.) en donde se tiene un escarpe de erosión mayor (Deem) en la Fm Los Santos. **Fuente UT Conurbano.**

- Escarpe de erosión menor (Deeme): Escarpes de longitud muy corta, con alturas de 1 a 20 metros, de forma cóncavo convexa y eventualmente recta, con pendiente escarpada a muy escarpada, originado por socavación fluvial lateral o por procesos de erosión y movimientos en masa remontante a lo largo de un drenaje menor. (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 54. Panorámica de Escarpes de Erosión Menor, visto desde la Vereda Santa Bárbara en el municipio de Betulia.



Imagen tomada desde la vereda Santa Bárbara, en el margen derecho de la vía que conduce a la vereda San Bernardo. (E: 1087718 m, N: 1257689 m., Z: 1799 m.s.n.m.). Imagen mostrando un escarpe de erosión menor (Deeme) observado en la parte Noreste del casco urbano de Betulia; además se muestra una ladera estructural de sierra homoclinal denudada (Sshle) con pendiente favorable hacia el casco urbano. **Fuente: UT Conurbano.**

- Laderas inclinadas (Dli): Superficie natural del terreno, cuyas laderas son empinadas con inclinaciones entre 30° y 45°, alargadas y rectilíneas, parcialmente cubiertas por depósitos de ladera.

Figura 55. Panorámica de la vereda las Puentes, tomada desde la Vereda Santa Rosa, en el municipio de Zapatoca, en la que se muestran Laderas Inclinadas.



Fotografía tomada desde el margen derecho de la vía que comunica el casco

urbano de Zapatoca con el corregimiento de La Fuente, en la vereda Santa Rosa (E: 1238145 m, N: 1087700 m, Z: 1666 m.s.n.m.), en donde se pueden observar laderas inclinadas (Dli). **Fuente: UT Conurbano.**

- Laderas muy inclinadas (Dlmi): Superficie natural del terreno cuyas laderas son muy empinadas, producto de procesos principalmente denudacionales, caracterizada por presentar pendientes con inclinaciones mayores a 45°.

Figura 56. Panorámica en la vereda Las Puentes en el municipio de Zapatoca, mostrando geoformas de tipo laderas muy inclinadas.



Fotografía tomada en la veredas Las Puentes en dirección hacia la vereda la Guayana (E: 1086446 m, N: 1240964 m, Z: 1857 m.s.n.m.) en donde se puede observar en la parte inferior laderas inclinadas (Dli), en la parte media de la fotografía laderas muy inclinadas (Dlmi) y hacia la parte superior se tienen depósitos coluviales (Dco). **Fuente: UT Conurbano.**

- Lomas denudadas (Dld): Prominencias topográficas con una altura menor de 200 m sobre su nivel de base local, de morfología alomada y elongada, con relieve relativo baja, de laderas cortas a muy cortas, de forma convexa, cuyas pendientes varían entre muy inclinadas a muy abruptas. Su origen está asociado a procesos intensos de meteorización y de erosión diferencial. Estas geoformas se caracterización por presentar movimientos en masa y procesos erosivos intensos. (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 57. Panorámica de La Hidroeléctrica de Sogamoso en la que se aprecian lomas denudadas.



Lomas Denudadas (Dld) en la Vereda Sogamoso (cerca de la Represa de Hidrosogamoso). (Coordenadas: E: 1074338 m; N: 1265653 m; Z: 832 m.s.n.m.). **Fuente: UT Conurbano.**

- Lomo residual (Dlres): Elevaciones del terreno menores de 200 m, sobre su nivel de base local, con morfología alomada y alargada, de laderas cortas a moderadamente largas de forma convexa y eventualmente cóncava, el índice de relieve es bajo a muy bajo. Las pendientes varían entre muy inclinadas a muy abruptas generalmente sobre materiales afectados por meteorización diferencial intensa. Presentan drenaje denso dendrítico y subparalelo. (Leiva et al., 2012).

Figura 58. Panorámica de lomos residuales en la vereda La Putana en el municipio de Betulia.



Imagen tomada en la Finca Aguamieluda. (E: 1076407 m., N: 1270790 m., Z: 352 m.s.n.m). Vereda La Putana. Mostrando lomos residuales (Dlres). **Fuente: UT Conurbano.**

- Planicie colinada residual (Dpcr): Áreas extensas y planas a suavemente inclinadas con morfología colinada a ondulada; con laderas cortas de forma recta a convexas, de pendientes abruptas, asociada a rocas duras, asociada a antiguas superficies de erosión, con presencia de suelos residuales de espesores superiores a 5m. (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 59. Panorámica en la que se muestra una planicie colinada residual en la vereda La Putana en el municipio de Betulia.



Imagen tomada en la Vereda La Putana. (E: 1063849 m., N: 1272060 m., Z: 148 m.s.n.m.). En la imagen se observan Planicie colinada residual (Dpcr) en la vereda La Putana; al fondo se observa el cerro La Paz. **Fuente: UT Conurbano.**

- Colina residual (Dcr): Debido a la configuración estructural de la zona, es de gran particularidad encontrar terrenos con elevaciones tan prominentes, ya que la zona se caracteriza por presentar terrenos con topografía mucho más suave. Esta geoforma es observada en las veredas La Colorada, Las Arrugas y Albania, en el municipio de San Vicente de Chucurí.

Figura 60. Colina residual en la vereda La Cristalina en el municipio de San Vicente de Chucurí.



Fotografía tomada en la vereda La Cristalina, zona más suroeste del municipio. (Coordenadas: E: 1043715 m., N: 1237223 m., 145 msnm). **Fuente: UT Conurbano.**

7.2.2.2 Geformas de origen Kárstico.

Son geformas originadas por meteorización química de rocas compuestas por minerales solubles en agua (Caliza, dolomía y yeso), que origina terrenos esculpidos de configuración compleja con relieves positivos y negativos (Leiva et al., 2012).

- Dolinas (Kd): Depresiones circulares o elípticas, de dimensiones variables desde 1 hasta 400 metros de diámetro y 1 a 200 metros de profundidad. Su origen se encuentra asociado a procesos de disolución de rocas calcáreas, o evaporitas en zonas de fracturamiento y normalmente están rellenas en el centro por arcillas producto de la descalcificación (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 61. Panorámica de la Finca La Joya – vereda Las Flores en el municipio de Zapatoca, mostrando una dolinas.



Fotografía al sur del casco urbano del municipio de Zapatoca, (E: 1090648 m, N: 1243163 m, Z: 1825 m.s.n.m.) en la veredas Las Flores en la Finca La Joya, en donde se aprecia una geomorfología de dolina (Kd) de aproximadamente 50 metros de diámetro, producto del desplome por disolución de la Fm Rosablanca. **Fuente: UT Conurbano.**

7.2.2.3 Geoformas de origen estructural. Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos, cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural al plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación (Leiva *et al.*, 2012).

- Ladera estructural de sierra homoclinal denudada (Sshle): Laderas definidas por la inclinación de los estratos en favor de la pendiente ($> 35^\circ$), de longitud corta a moderada larga de formas rectas a convexas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas. Rocas intermedias a duras con suelos residuales delgados y asociados localmente con procesos denudacionales acentuados y desarrollo de tierras malas. (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 62. Ladera estructural de sierra homoclinal denudada en el Puente El Ramo en el municipio de Betulia.



Imagen tomada por la vía que desde San Vicente de Chucurí conduce a Bucaramanga (Margen derecho). (E: 1078861 m., N: 1265515 m., Z: 344 m.s.n.m.). Fotografía mostrando una Ladera estructural de sierra homoclinal denudada (Sshle) generado por las capas de calizas de la Formación Tablazo, buzando a favor de la pendiente. **Fuente:** UT Conurbano

- Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal denudada (Sshcp): Laderas definidas por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, son de longitud moderada a larga, de formas cóncavas, festoneadas a irregulares escalonadas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas. Se constituyen de interestratificaciones de rocas duras, intermedias y blandas. Es común la presencia de procesos coluviales y de reptación de suelos y localmente disección intensa movimientos en masa menores. (Leiva *et al.*, 2012).

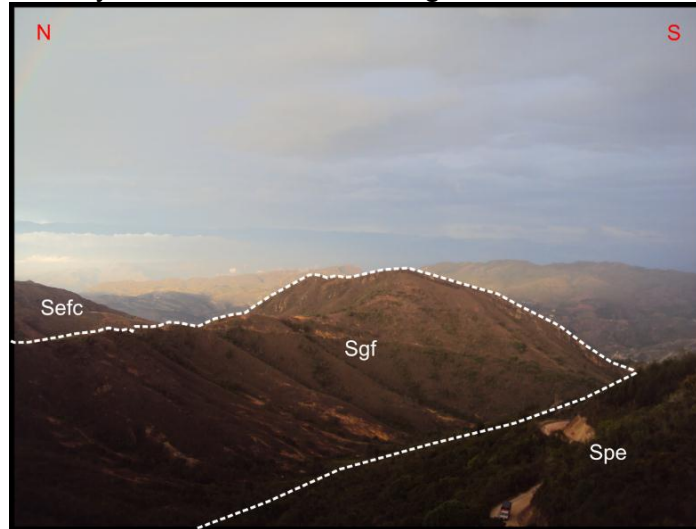
Figura 63. Ladera de contrapendiente de falla y escarpe de falla en la vereda San José en el municipio de Betulia.



Imagen tomada a lo largo de la vía que desde el casco urbano de Betulia conduce a la Quebrada el Ramo. (Coordenadas: E: 1083707 m., N: 1263774 m., Z: 1220 msnm). Vereda: San José. Imagen mostrando laderas de contrapendiente de homoclinal denudado (Sshcp) y un escarpe de línea de falla (Sifp). **Fuente:** UT Conurbano.

- Espolones faceteados (Sefc): Salientes naturales a manera de sierras colinadas de pendientes inclinadas a abruptas, desprendidas de estructuras mayores, correspondientes a procesos de plegamiento, fallamiento y erosión diferencial. Se emplazan en dirección preferencial NW-SE donde son truncadas por fallamientos inversos y de rumbo que terminan en facetas triangulares. (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 64. Panorámica del norte del municipio de Betulia, mostrando espolones facetados y su relación con otras geoformas.



Fotografía tomada desde el sector conocido como la Cuchilla del Ramo hacia la parte norte del municipio de Zapatoca (E: 1085728 m, N: 1248598 m, Z: 2026 m.s.n.m.) en donde se observa principalmente un gancho de flexión (Sgf), en el fondo se tienen espolones facetados (Sefc) y en la parte derecha de la foto unos espolones estructurales (Spe). **Fuente: UT Conurbano.**

- Escarpe de línea de falla (Slfp): Escarpe de ladera corta a muy corta con pendiente abrupta, cóncava o convexa, producto de erosión acentuada a lo largo de una línea de falla (Leiva *et al.*, 2012).

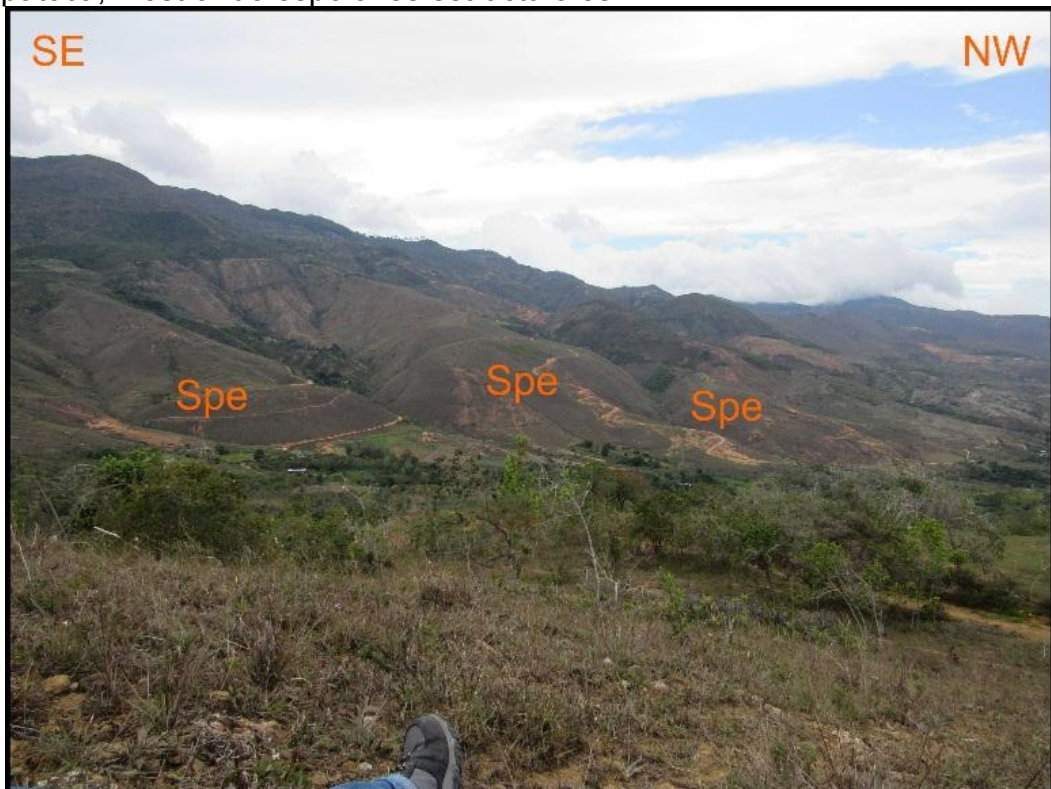
Figura 65. Panorámica de la vereda Santa Rosa, en el municipio de Zapatoca, mostrando un escarpe de línea de falla.



Figura tomada desde la vereda Nuevo mundo hacia la vereda Santa Rosa, SW del casco urbano de Zapatoca (E: 1085230 m, N: 1238954 m, Z: 1519 m.s.n.m.) en donde en la parte inferior se tiene un escarpe de línea de falla (Slfp) por donde pasa la quebrada que lleva su afluente hasta la quebrada la Pao, y hacia la parte superior se tienen laderas inclinadas (Dli). **Fuente: UT Conurbano.**

- Espolones estructurales (Spe): Salientes alomadas con laderas longitudinales, abruptas a escarpadas, cortas a muy cortas, perpendiculares a la tendencia estructural de la región y limitadas por drenajes paralelos a subparalelos. Se constituyen por alternancia e capas finas, duras, y blandas (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 66. Panorámica de la vereda Piedras Blancas, en el municipio de Zapatoca, mostrando espolones estructurales.



Fotografía tomada al W del casco urbano de Zapatoca, en la vereda Las Puentes mirando hacia la vereda Piedras Blancas (E: 1087217 m, N: 1241910 m, Z: 1605 m.s.n.m.) en donde se pueden observar espolones estructurales (Spe) originados por un sistema de fallas trasversales. **Fuente: UT Conurbano.**

- Laderas estructurales de anticlinal (Ssanl): Laderas con estratos inclinados en favor de la pendiente, de longitudes cortas, de formas convexas a rectas y con pendientes inclinadas a muy abruptas. Se constituyen de rocas de origen sedimentario intermedias a duras con suelos residuales delgados a gruesos con desarrollo de drenaje por lo general subparalelo en baja densidad. Localmente los estratos se presentan con inclinaciones menores de la pendiente natural del terreno. (Modificado de Leiva *et al.*, 2012).

Figura 67. Panorámica de laderas estructurales de anticlinal formada al Este del casco urbano de Betulia.



Imagen tomada desde las tomateras presentes a la salida del casco urbano de Betulia. (E: 1088248 m., N: 1256730 m., 1746 msnm). Se muestra al fondo de la imagen la Laderas estructurales de anticlinal (Ssanl) formada al Este del casco urbano de Betulia y el trazo de la Falla La Betuliana. **Fuente: UT Conurbano.**

- Laderas de contrapendiente sinclinal (Sscp): Laderas convexas a irregulares escalonadas, cortas a moderadamente largas con estratos buzando en contra de la pendiente del terreno (la cual es abrupta a escarpada). Intercalaciones de rocas blandas a intermedias definiendo drenaje subparalelo (Leiva *et al.*, 2012).

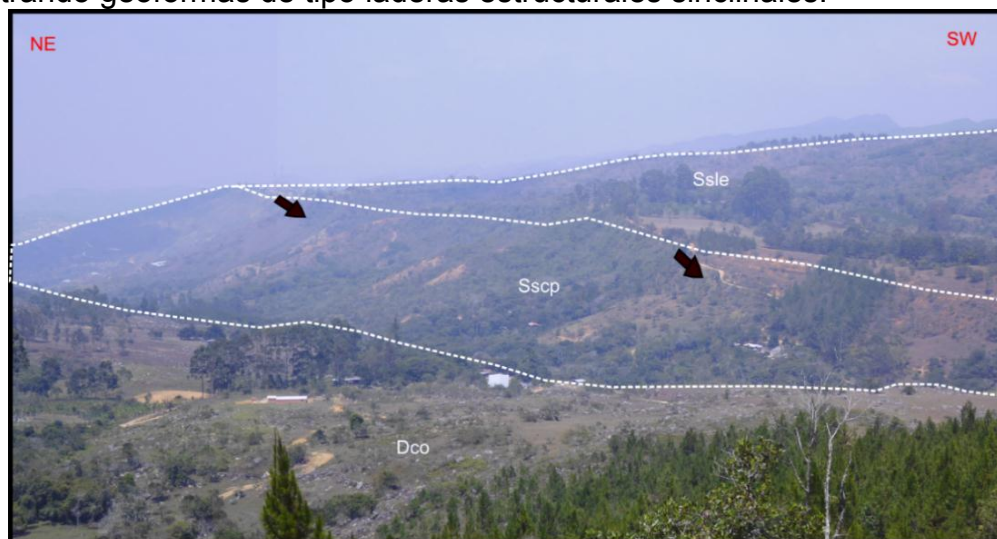
Figura 68. Panorámica de la región más norte del Sinclinal de Zapatoca, en límites con la Quebrada Zapatoca, en la que se evidencian laderas de contrapendiente sinclinal.



Fotografía tomada en la vereda Unión Norte del municipio de Betulia hacia la parte más norte del Sinclinal de Zapatoca en límites con la quebrada Zapatoca (E: 1089920 m, N: 1250870 m, Z:1380), en donde se tiene un escarpe de línea de falla (Slfp) dado por la falla Zapatoca y una ladera de contrapendiente del Sinclinal (Sscp) de Zapatoca. **Fuente: UT Conurbano.**

- Laderas estructurales sinclinales (Ssle): Laderas cortas a moderadamente largas, cóncavas de pendientes inclinadas a abruptas, con estratos inclinados a favor de la pendiente del terreno, conformando una artesa (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 69. Panorámica hacia el NW del casco urbano de Zapatoca, mostrando geofomas de tipo laderas estructurales sinclinales.



Fotografía tomada desde la vereda Piedras Blancas hacia el NW del casco urbano de Zapatoca (E: 1086167 m, N: 1241324 m, Z: 1920 m.s.n.m.), en donde se puede observar en la parte superior una ladera estructural del sinclinal de Zapatoca (Ssle), en la parte media una ladera contra pendiente del mismo sinclinal (Sscp) y en la parte inferior un depósito coluvial. **Fuente: UT Conurbano.**

- Faceta triangular (Sft): Superficie planar abrupta, recta con una geometría en planta triangular o trapezoidal (base amplia y angosta hacia arriba), cuyo origen se debe al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral de relieves estructurales o interfluvios por procesos de fallamiento y erosión diferencial posterior. (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 70. Facetas triangulares vistas desde la vía del Puente El Ramo al casco urbano del municipio de Betulia.

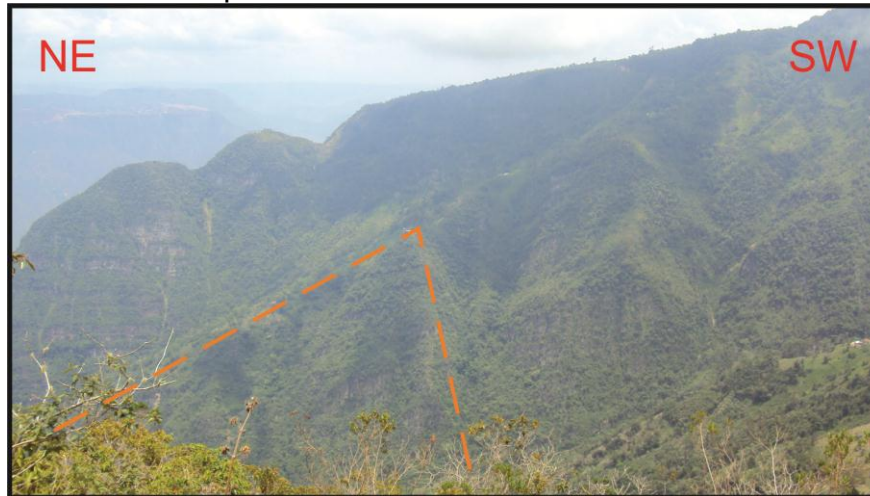


Imagen tomada desde la vía desde conduce desde el sitio conocido como “Puente del Ramo”, en la vía principal Bucaramanga- San Vicente, hasta el casco urbano del municipio de Betulia. (E: 1085833 m., N: 1262787 m., Z: 1539 m.s.n.m.). Se muestran facetas triangulares (Línea naranja), las cuales son evidencia de fallamiento. **Fuente: UT Conurbano.**

7.2.2.4 Geoformas de origen fluvial. Las geoformas de origen fluvial son originadas por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y acumulación o sedimentación de materiales en las zonas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de corrientes perennes, durante la época seca.

- Terrazas de erosión fluvial (Fte): Planos elongados de morfología plana a suavemente ondulada que se presenta en forma alterna no pareada a lo largo del cauce de un río que fluye sobre sustrato rocoso, limitados por escarpes de diferente altura, generada por procesos de erosión aluvial sobre el sustrato rocoso. Generalmente esta geoforma contiene una delgada capa de grava que cubre la superficie plana lateral erodada. Este tipo de terraza se asocia a la erosión lateral y procesos de levantamiento tectónicos. Raramente se presentan pareadas dado que los procesos de erosión no afectan simétricamente ambos lados de la corriente. (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 71. Terraza de erosión fluvial en el corregimiento de Yarima en el municipio de San Vicente de Chucurí.



Fotografía tomada en la vereda Yarima. (Coordenadas: E: 1038900 m., N: 1247615 m., Z: 147 msnm). **Fuente: UT Conurbano.**

- **Cauce aluvial (Fca):** Canales de forma irregular excavados por corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales y que dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Cuando las corrientes fluyen en macizos rocosos se da un proceso básicamente erosivo, entallando dicho macizo y moviéndose lateralmente dentro de rocas menos resistentes. (Leiva *et al.*, 2012).

Figura 72. Cauce fluvial del río Cascajales en el corregimiento de Yarima en el municipio de San Vicente de Chucurí.

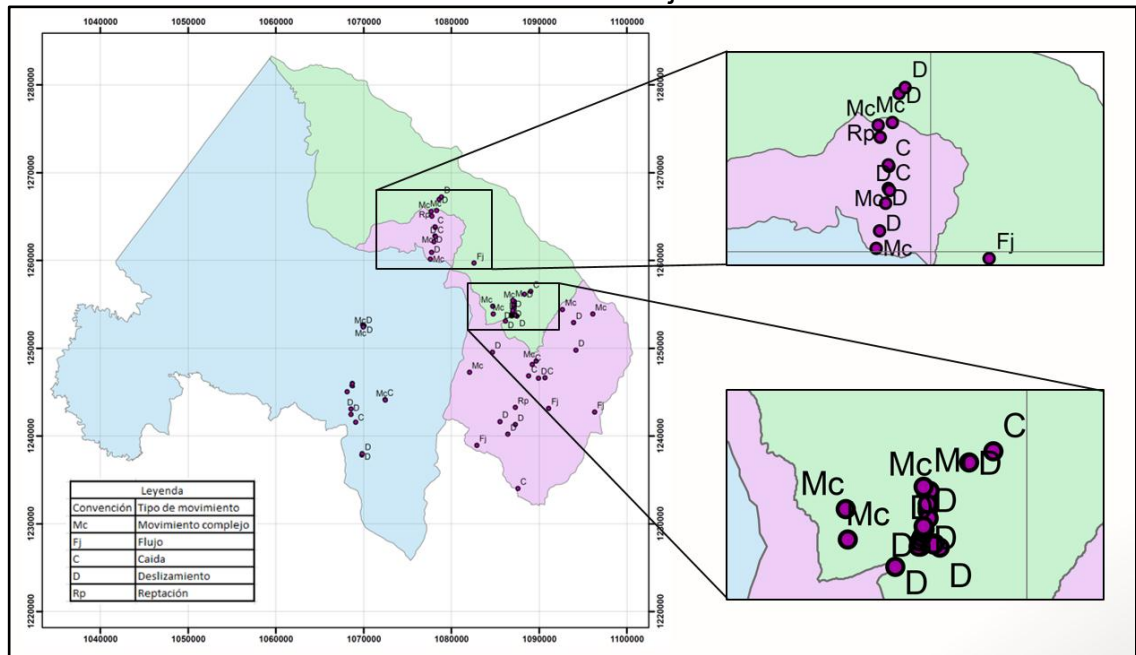


Fotografía mostrando el cauce del Río Cascajales a lo largo de la vereda Yarima. (Coordenadas: E: 1040217 m., N: 1245000 m., Z: 140 msnm). **Fuente: UT Conurbano.**

7.2.3 MORFODINÁMICA:

Como resultado de la fase de campo, se observaron y se caracterizaron 70 movimientos en masa, de los cuales 26 se encuentran ubicados en el municipio de Betulia, 30 en el municipio de Zapatoca y 14 en el municipio de San Vicente de Chucurí.

Figura 73: Mapa de localización de los movimientos en masa encontrados en el área de trabajo.

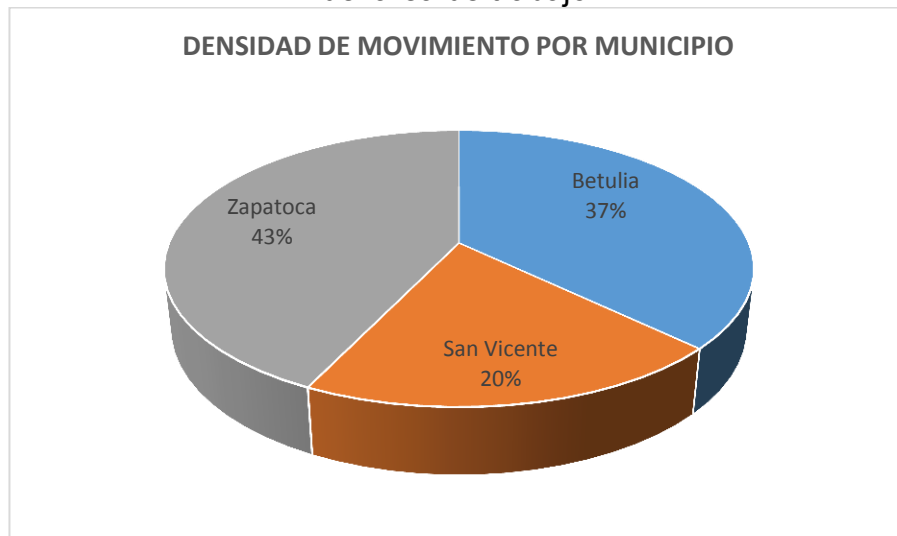


Cada uno de dichos movimientos en masa, no se muestran dentro de la estructura del presente libro por cuestiones de espacio, ya que son muchos los movimientos en masa inventariados y se haría demasiado extenso presentarlos aquí mismo; pero si se encuentran descritos y caracterizados de forma individual en el anexo E, F y G.

7.2.3.1 Indicadores estadísticos morfodinámicos:

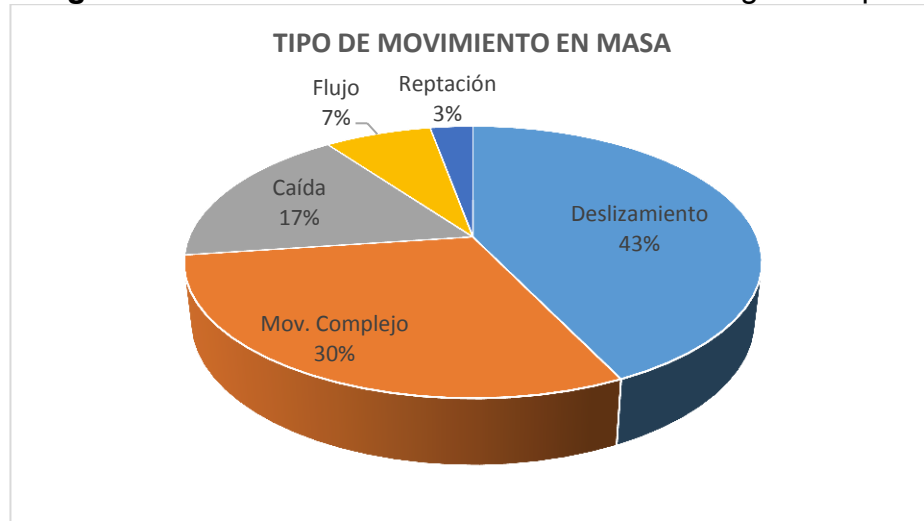
Las características litológicas y geomorfológicas en cada uno de los municipios difieren un poco y hacen que algunos sectores sean más susceptibles a presentar algún tipo de movimiento en masa.

Figura 74: Densidad de movimientos presentes en cada uno de los municipios del área de trabajo.



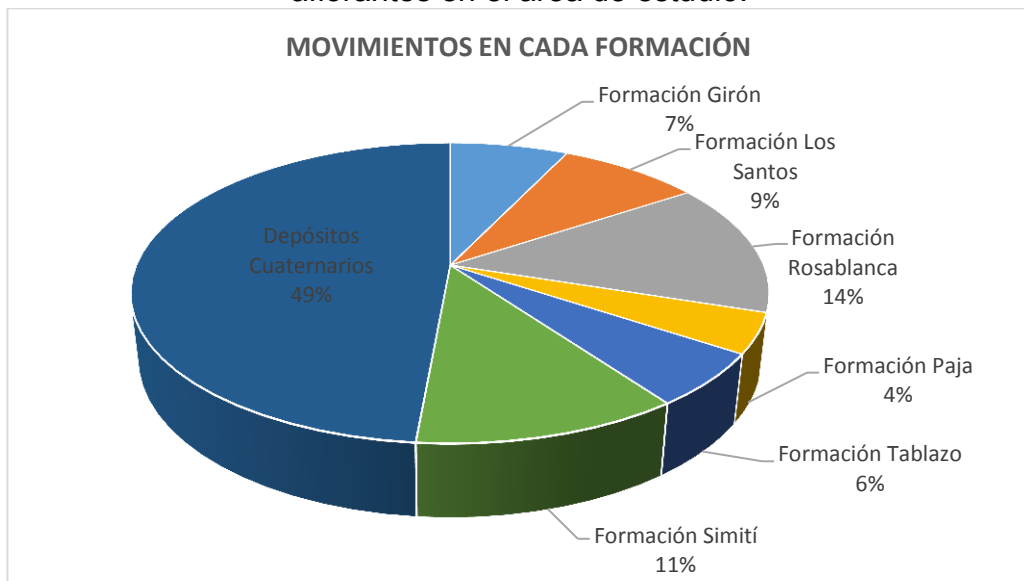
Los procesos morfodinámicos presentan diferentes tipos de movimientos en masa según su mecanismo, y como resultado se tiene que los movimientos encontrados en el área de trabajo son en su mayoría deslizamientos, seguidos de movimientos complejos, tal como se muestra en la siguiente gráfica.

Figura 75. Densidad de movimientos en masa según su tipo.



Los movimientos en masa se encuentran activamente presentes en unidades cuaternarias, principalmente en depósitos coluviales, seguidos en unidades Cretácicas como en las Formaciones como Rosablanca y Simití primordialmente; y con presencia prácticamente nula en las unidades del cenozoico, pues en la zona de estudio, estas formaciones se encuentran en zonas topográficas relativamente planas, específicamente en el valle del río Magdalena.

Figura 76. Densidad de movimientos en masa en las diferentes unidades aflorantes en el área de estudio.



8. DISCUSIÓN

A continuación se presenta una comparación entre los insumos generados a partir de este proyecto, y los insumos que existían para los municipios en cuestión, en sus respectivos planes y esquemas de ordenamiento territorial del año 2003.

Geología

Figura 77. Mapas geológicos del municipio de Zapatoca.

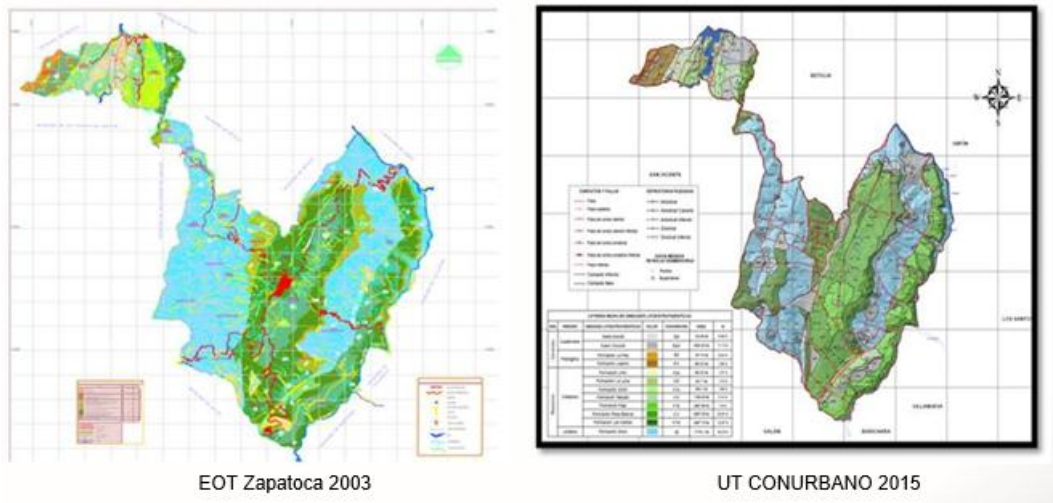


Figura 78. Mapas geológicos del municipio de Betulia.

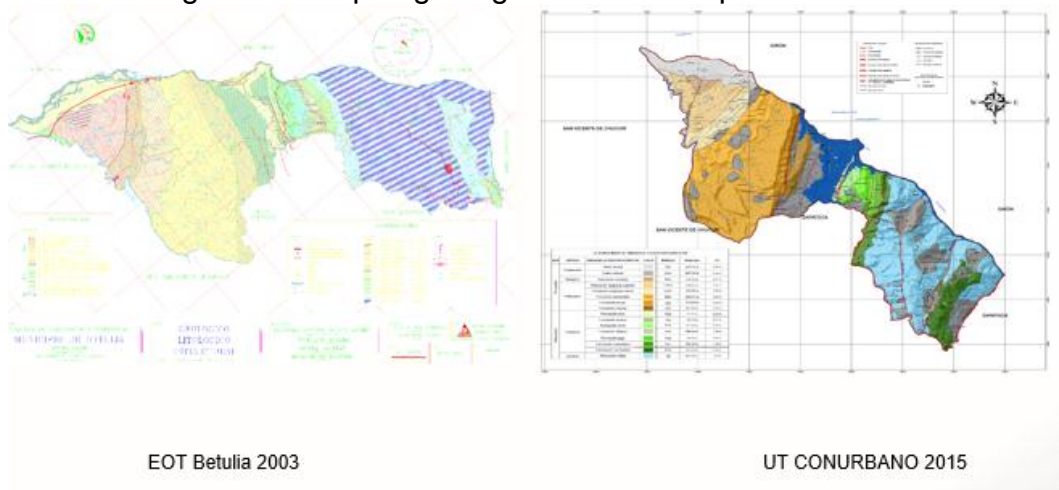
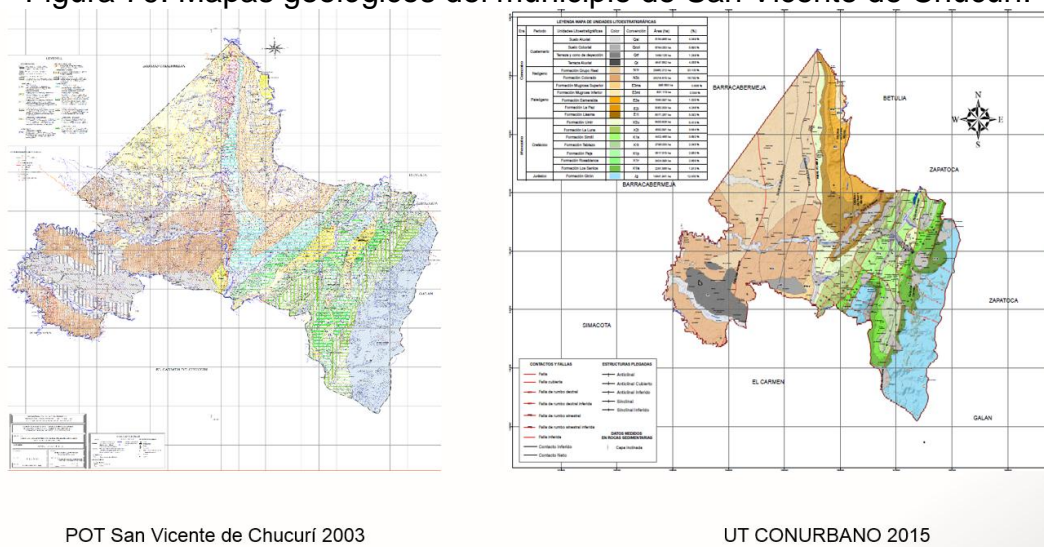


Figura 79. Mapas geológicos del municipio de San Vicente de Chucurí.



- En los Esquemas de Ordenamiento Territorial del año 2003 de los municipios de Zapatoca y Betulí, y el Plan de Ordenamiento Territorial del año 2003 del municipio de San Vicente de Chucurí, los mapas geológicos de cada municipio se encuentran en formatos DWG, mientras que los nuevos mapas generados a partir de este proyecto, se encuentran disponibles en el formato SHP.
- En los mapas entregados, se hizo la actualización de las nomenclaturas de las respectivas unidades litoestratigráficas, de acuerdo a la Comisión Estratigráfica Internacional.
- El aporte más importante que se da con la recolección de los insumos geológicos, es la definición de unidades cuaternarias, que son carentes en el mapa geológico de Betulí que está en el EOT del 2003. Al igual que una mayor densidad de datos estructurales, lo cual evidencia un mayor detalle y control estructural en los nuevos mapas geológicos de cada uno de los municipios.
- En los mapas actualizados en el presente proyecto, es mayor el detalle de la zona, puesto que se cartografiaron a escala 1:25.000, a diferencia de los mapas geológicos en los EOT y POT 2003, que se encontraban a escala 1:50.000.

Geomorfología.

Figura 80. Mapas geomorfológicos del municipio de Betulia.

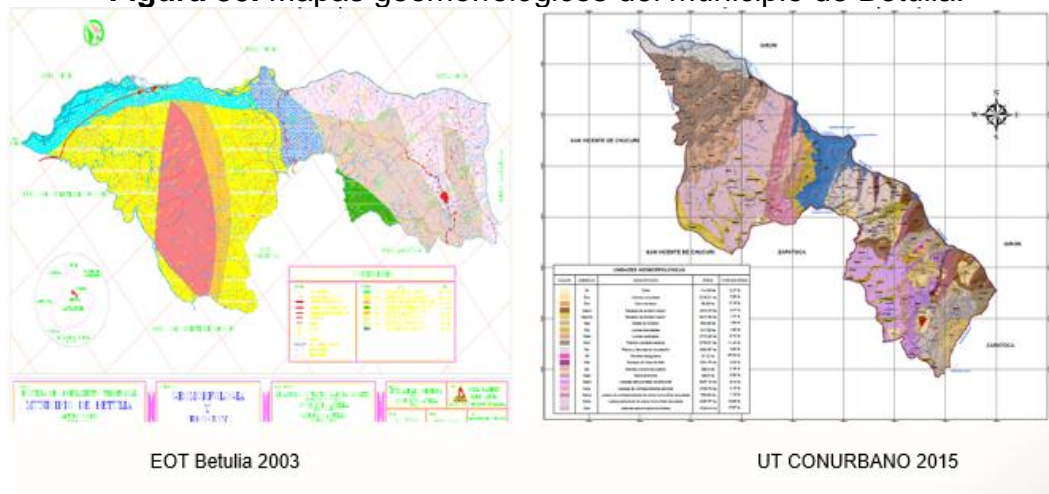
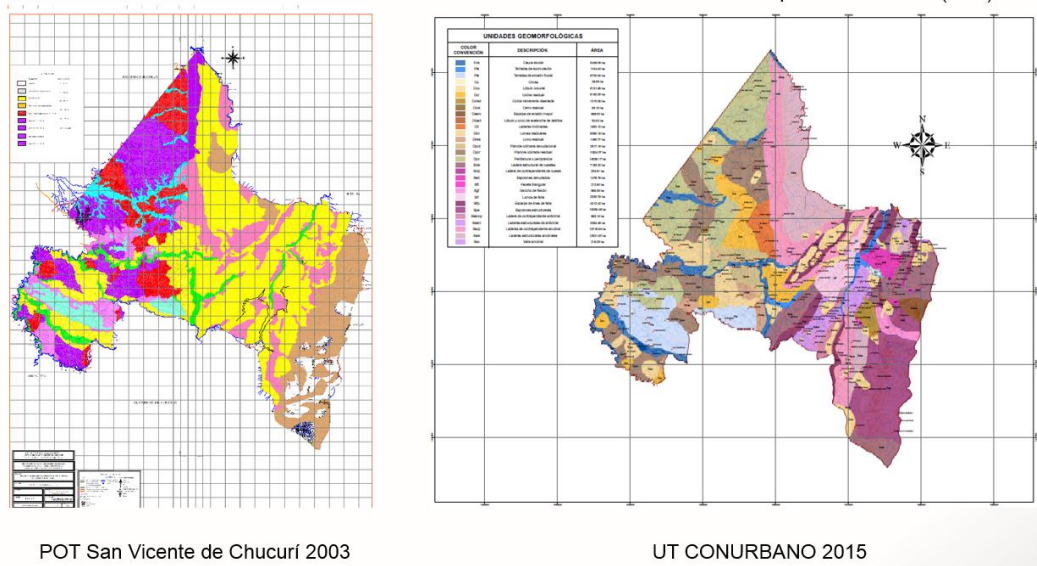


Figura 81. Mapas Geomorfológicos San Vicente de Chucurí.



- En los Esquemas de Ordenamiento Territorial del año 2003 de los municipios de Zapatoca y Betuliar, y el Plan de Ordenamiento Territorial del año 2003 del municipio de San Vicente de Chucurí, los mapas geomorfológicos de cada municipio se encuentran en formatos DWG, mientras que los nuevos mapas generados a partir de este proyecto, se encuentran disponibles en el formato SHP.
- En este proyecto, para la actualización del componente geomorfología para la generación del modelo de susceptibilidad, se tuvo en cuenta los atributos

morfométricos, morfogenéticos y morfodinámicos, siguiendo 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, propuesta por el Servicio Geológico Colombiano 2012. Mientras que en

- En los mapas geomorfológicos contemplados en los EOT y POT del año 2003 de los municipios en cuestión, solo consideran el mapa morfogenético como mapa geomorfológico, omitiendo el morfométrico y morfodinámico, que son de suma importancia no solo para tener en cuenta en la geomorfología sino porque tienen gran influencia en el modelo susceptibilidad y una mayor relevancia al general el modelo de amenazas por remoción en masa. A parte, los polígonos que aparecen en dichos mapas, son demasiado pequeños, lo que da a entender que hubo poco detalle a la hora de realizar los mapas morfogenéticos.

9. CONCLUSIONES

- Los estudios de geológicos, geomorfológicos y todos los inherentes para realizar un plan de gestión de riesgos de amenazas por remoción en masa, se deben hacer de forma integral teniendo en cuenta la lógica natural, en donde las diferentes unidades cartografiadas mantienen una continuidad espacial, más allá de una lógica jurídica en cuando a divisiones administrativas en las que se encuentran enmarcados los diferentes municipios, en este caso Zapatoca, Betulia, San Vicente de Chucurí.
- Los inventarios de movimientos en masa constituyen la principal fuente de información para validar y calibrar los resultados de la zonificación de las amenazas por remoción en masa.
- Es importante considerar que las unidades litoestratigráficas no se compartan de manera homogénea en toda su disposición espacial, lo cual tiene una gran influencia a la hora de generar un mapa de susceptibilidad.
- Comparando los modelos de amenazas que existían, con los generados a partir de este proyecto, se puede concluir que es fundamental tener un buen control estructural y muy bien definidas las unidades cuaternarias de la zona porque puede generar grandes variaciones a la hora de generar el modelo de amenazas.

10. RECOMENDACIONES

- Para tener una mayor claridad sobre la geología de estos municipios se debe realizar un mayor control de campo con mayor tiempo disponible.
- Después de cruzar los respectivos mapas para obtener el modelo de amenazas, se necesita validar el modelo con los inventarios de movimientos en masa.
- Realizar una visita a campo para realizar la respectiva comprobación de los sectores críticos en el modelo final de amenazas.
- Se necesitan estudios geotécnicos mayores para una mejor clasificación de las rocas según sus propiedades geotécnicas.

BIBLIOGRAFÍA

CAMPBELL, C.J. The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting. Transactions of the Fourth Caribbean Geological Conference. Trinidad. 1965. Memoir: 247-261.

CARDOZO, E. y RAMÍREZ, C. Ambientes de depósitos de la Formación Rosablanca, áreas de Villa de Leiva. Proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especiales de INGEOMINAS (16). Bogotá. 1985. Capítulo XIII. p. 1-13.

CEDIEL, F. El Grupo Girón, una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental. Servicio Geológico Nacional. En: Boletín Geológico, 16 (1-3). 1968. p. 5-96. Bogotá.

CEDIEL, F. SHAW, R. Y CÁCERES, C. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. En: AAPG Memoir. no 79. 2003. p 815-848.

CETINA, L. Y PATIÑO, H. Determinación de los tensores de esfuerzos asociados a la evolución del flanco oeste del anticlinal de los Cobardes, Santander. Bucaramanga. 2013. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología.

CHACÓN, G. Y PALACIOS, I. Adquisición, procesamiento e interpretación de sondeos eléctricos verticales como método de caracterización del subsuelo en el área de Pesca, cuenca cordillera oriental. Bucaramanga. 2014. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología.

CLAVIJO, J. Secuencia facial de la Formación Los Santos por la Quebrada Piedra Azul: Registro de una hoya fluvial evanescente. Proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especiales INGEOMINAS (16). Bogotá. Capítulo IV. 1985. p. 1-18.

CLAVIJO, J., MENDOZA, H., ROYERO, J.M., BERNAL, L., Y REYES, G. Contribución al conocimiento de la geología de los Santanderes. Cuarto Simposio de Geología Regional. Bucaramanga. INGEOMINAS. Documento interno. 1993. p. 99.

COOPER, M., ADDISON, F., ÁLVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R., HAYWARD, A., HOWE, S., MARTÍNEZ, J., NAAR, J., PEÑAS, R., PULHAM, A., Y TABORDA, A. Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. En: AAPG

Bulletin, no. 10. 1995. p. 1421–1443. Vol 79.

CORTES, M. ANGELIER, J. Y COLLETTA, B. Paleostress evolution of the northern Andes (Eastern Cordillera of Colombia): Implications on plate kinematics of the South Caribbean región. En: TECTONICS. No 24. 2005. p 1-27.

CRUZ GUEVARA, L. E. Y CABALLERO V. M. 2010. Guía de laboratorio de sedimentología para geólogos. Escuela de Geología. UIS.

DE PORTA, J., et al., 1974. Lexique Stratigraphique International. Centre National Recherche Scientifique. Volume V. Amerique Latine, fascicule 4b, Colombie, p. 692. Paris.

DENGO, C. A. COVEY, M. C. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for Trap Styles and Regional Tectonic. En: American Association of Petroleum Geologists Bulletin. No 77. 1993. p. 1315-1337.

DIAZ, G.J., SPERANZA, F., FACCENA, C., BAYONA, G., MORA, A. 2014. Magnetic stratigraphy of the Bucaramanga alluvial Fan: Evidence for a ≤ 3 mm/yr slip rate for the Bucaramanga-Santa Marta Fault, Colombia. En: Journal of South American Earth Sciences, doi: 10.1016/j.jsames.2014.11.001.

DICKEY, P.A. Pre-Cretaceous sediments in Cordillera Oriental of Colombia. En: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, no 29. 1941. p. 1789-1795.

DIEDERIX, H. HERNÁNDEZ, C. TORRES, E. Y BOTERO, P. Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en evidencias estructurales, Neotectónicas y Paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. Proyecto Geo08-09, Subdirección de geología básica. 2008. Bogotá, Colombia.

DIEDERIX, H. HERNÁNDEZ, C. TORRES, E. OSORIO, J. Y BOTERO. P. Resultados preliminares del primer estudio paleosismológico a lo largo de la Falla de Bucaramanga. 2009. Colombia.

DUNHAM, R.J. "Classification of carbonate rocks according to depositional texture". In Ham, W.E. Classification of carbonate rocks. En: American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1. 1962. p. 108–121.

ETAYO, F. y RODRÍGUEZ, G.I. Edad de la Formación Los Santos. Proyecto Cretácico. Publicaciones Geológicas Especiales INGEOMINAS (16). Bogotá. Capítulo XXVI. 1985. p. 1-12.

FABRE, A. Tectonique et génération d'hydrocarbures: un modèle de l'évolution de la Cordillère Orientale de Colombie et du Bassin de Llanos pendant le Crétacé et le Tertiaire. En: Archives des Sciences Genève. No 40. 1987. p.

145-190.

FOLK, R. L. Petrology of sedimentary rockk, Hemphill Publishing Company. 1974. Austin, TX.

HETTNER, A., 1892. Die Kordillere von Bogotá, Gotha, Patermans Mitteil; 22, 131 p. Ergänzangsheft.

JULIVERT, M. La morfoestructura de la zona de mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.). En: Boletín de Geología. no 1. 1958. p. 7-43.

JULIVERT, M. Las estructuras del Valle Medio del Magdalena y su significación. En: Boletín de Geología. no 6. 1961. p. 33-52. Bucaramanga.

LANGENHEIM, R. L. Preliminary report on the stratigraphy of the Girón Formation in Santander and Boyacá. Instituto Geológico Nacional. Bogotá. En: Informe 1011. 1954. p. 20

LAVERDE, F. La Formación Los Santos: Un depósito continental anterior al ingreso marino del Cretácico. Proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especiales INGEOMINAS (16). Bogotá. Capítulo XX. 1985. p. 1-22.

LAVERDE, F. Y CLAVIJO, J. Análisis facial de la Formación Los Santos, según el corte de "Tu y Yo" (Zapatoca). Proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especiales, (16) Capítulo VI. 1985. p. 1 - 9.

LEIVA, O. MOYA, H. GONZALES, G. Y CARVAJAL, J. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D. C. 2012. p. 90.

PINDELL, J. AND DEWEY, J. F. Perma-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region. En: Tectonics. Vol 1. 1982. p. 179-211.

PONS, D. Etude paleobotanique et palynologique de la Formation Giron (jurassique moyencretace inferieur) dans la region de Lebrija, Departamento de Santander, Colombie. Nat. Savantes Brest. Sci. Jasc.1. 1982. p. 53-78.

MARTÍNEZ, J. Y GUTIÉRREZ, G. Geología estructural y dinámica global. Salamanca. Departamento de Geología Universidad de Salamanca. 2002. p. 431.

MESCHEDE, M. AND FRISCH, W. A plate-tectonic model for the Mesozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate. En: Tectonophysics. No 292. 1998. p 269-291.

McCOURT, W. J. ASPEND, J. A. AND BROOK, M. New geological and geochronological data from the Colombia Andes: Continental growth by multiple accretion En: Journal of the Geological Society of London. Vol 141. 1984. p 831-845.

MOJICA, J. KAMMER, A. Y UJUETA, G. El Jurásico del sector noroccidental de Suramérica: y guía de la excursión al Valle Superior del Magdalena (Nov: 1-4/95), regions de Payande' y Prado, Departamento Del Tolima. En: Geología Colombiana. Vol 21. 1996. p. 3-40.

MORALES, L. General geology and oil occurrence of the Middle Magdalena Valley, Colombia. In: habitat of oil a Symposium. American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 1958. p. 641-695.

NAVAS, J. Estudio estratigráfico del Girón al W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Boletín de Geología. No 12. 1963. p. 19-33.

ROYERO, J. Y CLAVIJO, J. Mapa geológico generalizado departamento de Santander. Memoria explicativa. Escala 1:400.000. Instituto de investigación e informática geocientífica, minero-ambiental y nuclear INGEOMINAS. Bogotá D.C. 2001. p. 91.

SARMIENTO, L. VAN WESS, J. Y CLOETINGH, S. Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. In: Journal of South American Earth Sciences 21. 2006. p. 383-411.

SUÁREZ, J. Suelos Residuales en Deslizamiento. Bucaramanga. 2009. p. 389-438.

TSCHANZ, C. H. MARVIN, R. F. CRUZ, J. MEHNERT, H. H. AND GEBULA, G. T. Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, North Eastern Colombia. In: Bulletin Geological Society of America. Vol 85. 1974. 273-284.

TOUSSAINT, J.F., y RESTREPO, J.J., 1989. Acreciones sucesivas en Colombia: Un nuevo modelo de evolución geológica. V Congreso Colombiano de Geología. Memoria,: 127-146. Bucaramanga.

TRUMPY, D. Pre-Cretaceous of Colombia. In: Bulletin Geological Society of America. Vol 54 (9). 1943. p. 1281-1304.

VALLEJO, L. FERRER, M. ORTUÑO, L. Y OTEO, C. Ingeniería Geológica. Pearson educación. Madrid. 2002. p. 744.

VAN DER HAMMEN, T. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continental y tectogénesis de los Andes Colombianos. Inventario Geológico Nacional. En: Boletín Geológico, 6 (1-3). 1958. p. 67-128.

VARNES, D. J. Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, R. L. AND KRIZEK, R. J. Landslides analysis and control: National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176. p. 9 – 33.
171542

WARD, D., RICHARD, G., JAIME, C., Y HERNÁN, R. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona Departamento de Santander. Boletín Geológico. Vol 21. 1973. p. 1 – 3.