



**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN
No 009 DE 2013**

***MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO
APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000.
PLANCHA 109 RIONEGRO, DEPARTAMENTO DE SANTANDER***

Bucaramanga, Mayo de 2014



**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN
No. 009 DE 2013**

***MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO
APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000.
PLANCHA 109 RIONEGRO, DEPARTAMENTO DE SANTANDER***

EQUIPO EJECUTOR – UNIVERSIDAD

M.Sc Sait Khurama
Dirección Proyecto

M.Sc Francisco Velandia
Dirección Técnica Proyecto

Geol. Jorge Leonardo Chaparro
Geomorfología

Ing. Jeiner Buitrago
Suelos Edáficos

Geol. Nardy Liliana Neiza
Sistema de Información Geográfica

EQUIPO ASESOR – SGC

Ing. Gloria Lucía Ruíz
Supervisión Convenio

Geol. Sofía del Rosario Navarro
Coordinadora Grupo Técnico

Geol. Gustavo Trejos
Geol. Jorge Castro
Geología y Geomorfología

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

Bucaramanga, Mayo de 2014

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| RESUMEN | 13 |
| ABSTRACT | 15 |
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| OBJETIVO GENERAL | 18 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 18 |
| LOCALIZACIÓN | 18 |
| METODOLOGÍA APLICADA | 19 |
| PROCESO METODOLÓGICO | 28 |
| ALCANCES | 35 |
| 1. CARACTERÍSTICAS GENERALES | 36 |
| 1.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES | 36 |
| 1.1.1 Unidades Litológicas | 37 |
| 1.1.2 Geología Estructural | 54 |
| 1.2 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES | 58 |
| 1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS | 59 |
| 2. GEOMORFOLOGÍA DE LA PLANCHA 109-RÍONEGRO | 61 |
| 2.1 GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL | 65 |
| 2.1.1 Cono y lóbulo coluvial (Dco) | 65 |
| 2.1.2 Colina residual (Dcr) | 68 |
| 2.1.3 Cerro remanente (Dcrem) | 68 |
| 2.1.4 Colina remanente muy disectada (Dcremd) | 69 |
| 2.1.5 Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi) | 71 |
| 2.1.6 Cono de deslizamiento traslacional (Ddtr) | 72 |
| 2.1.7 Escarpe de erosión menor (Deeme) | 73 |
| 2.1.8 Cono y flujos de detritos (Dfe) | 75 |
| 2.1.9 Lomeríos disectados (Dldi) | 76 |
| 2.1.10 Ladera erosiva (Dle) | 77 |
| 2.1.11 Lomeríos muy disectados (Dlmd) | 78 |
| 2.1.12 Mesa de abanico (Dmab) | 79 |
| 2.1.13 Montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo) | 80 |
| 2.1.14 Planicie (Dp) | 82 |
| 2.1.15 Planicie colinada denudada (Dpcd) | 84 |
| 2.1.16 Penillanura o peneplanicie (Dpn) | 85 |
| 2.1.17 Sierra denudada (Dsd) | 86 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 2.1.18 | Sierra residual (Dsr) | 86 |
| 2.2 | GEOFORMAS DE ORIGEN MORFOESTRUCTURAL | 87 |
| 2.2.1 | Cuesta (Sc)..... | 88 |
| 2.2.2 | Espinazo (Se)..... | 88 |
| 2.2.3 | Espolón faceteado (Sefc)..... | 91 |
| 2.2.4 | Espolón festoneado (Sefes) | 92 |
| 2.2.5 | Espolón estructural (Ses) | 93 |
| 2.2.6 | Faceta triangular (Sft) | 95 |
| 2.2.7 | Gancho de flexión (Sgf) | 95 |
| 2.2.8 | Ladera de contrapendiente (Slcp)..... | 96 |
| 2.2.9 | Ladera estructural (Sle) | 97 |
| 2.2.10 | Lomo de falla (Slf) | 97 |
| 2.2.11 | Escarpe de línea de falla (Slfe)..... | 98 |
| 2.2.12 | Lomo de obturación (Slo) | 100 |
| 2.2.13 | Meseta estructural (Sm)..... | 102 |
| 2.2.14 | Escarpe de meseta estructural (Sme)..... | 102 |
| 2.2.15 | Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal (Ssalc)..... | 103 |
| 2.2.16 | Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale) | 104 |
| 2.2.17 | Sierra anticlinal (Ssan)..... | 104 |
| 2.2.18 | Barras estructurales (Ssbe)..... | 105 |
| 2.2.19 | Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc) | 106 |
| 2.2.20 | Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle)..... | 107 |
| 2.2.21 | Sierra y lomo de presión (Sslp)..... | 108 |
| 2.2.22 | Sierra sinclinal (Sss) | 110 |
| 2.2.23 | Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc)..... | 111 |
| 2.2.24 | Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle) | 112 |
| 2.2.25 | Plano aluvial confinado (Svc)..... | 112 |
| 2.3 | GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL | 113 |
| 2.3.1 | Barra longitudinal (Fbl)..... | 114 |
| 2.3.2 | Cauce aluvial (Fca)..... | 115 |
| 2.3.3 | Cono de deyección (Fcdy)..... | 116 |
| 2.3.4 | Meandro abandonado (Fma)..... | 116 |
| 2.3.5 | Planicie aluvial confinada (Fpac) | 118 |
| 2.3.6 | Planicie o llanura de inundación (Fpi) | 119 |
| 2.3.7 | Terraza de acumulación (Fta)..... | 119 |
| 2.3.8 | Escarpe de terraza de acumulación (Ftae)..... | 121 |
| 2.3.9 | Terraza de acumulación antigua (Ftan) | 121 |
| 2.3.10 | Terraza de acumulación subcrecientes (Ftas) | 122 |
| 2.4 | EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA | 123 |
| | CONCLUSIONES | 127 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 129 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Localización Plancha 109-Rionegro, en el Departamento de Santander. | 19 |
| Figura 2. Esquema de Jerarquización Geomorfológica (Modificado SGC, 2012). | 22 |
| Figura 3. Patrones de drenaje (Huggett, (2007) en SGC, 2012) | 26 |
| Figura 4. Formato para la recolección de datos geomorfológicos, UIS (2012). | 31 |
| Figura 5. Formato para la recolección de información sobre movimientos en masa, (SGC, 2012). Parte A | 32 |
| Figura 6. Formato para la recolección de información sobre movimientos en masa, (SGC, 2012). Parte B. | 33 |
| Figura 7. Flujograma detallado del proceso metodológico seguido en la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000. | 34 |
| Figura 8. Zonas definidas para la sectorización de la Plancha 109-Rionegro en cuanto a ambientes geomorfológicos: Franja Oriental (Rosado), Franja Central (Amarillo), Franja Occidental (Azul Celeste). | 63 |
| Figura 9. Panorámica tomada al W de un Depósito coluvial, que presenta forma lobular. Ladera encontrada en inmediaciones a Cuesta Rica, Municipio de Rionegro (Santander). | 67 |
| Figura 10. Fotografía tomada al SW de un depósito coluvial; se observan bloques de diversos tamaños que alcanzan los 3 m de espesor. Inmediaciones de la vía que comunica al Corregimiento de Uribe Uribe, Municipio de Sabana de Torres con la vereda Centenario, Municipio de Lebrija (Santander). | 67 |
| Figura 11. Expresión morfológica de la unidad Colina residual. Imagen satelital extraída de Google Earth. Se observa la prominencia topográfica relativamente aislada con predominio de procesos denudativos. Vereda San Pedro, Municipio del Playón. La línea roja indica la delimitación de la geoforma. | 68 |
| Figura 12. Perfil topográfico de la unidad Cerro Remanente. Se puede apreciar que esta geoforma sobresale de la topografía circundante y constituye una unidad aislada que ha quedado como remanente de procesos denudativos en este caso sobre rocas ígneas aflorantes sobre márgenes de la quebrada Silgará. | 69 |
| Figura 13. Perfil Topográfico en el cual se observa la variación relativa de alturas en las veredas del sector occidental del Municipio de Rionegro. La variación de altura promedio no alcanza los 400 m de altura y el grado de | |

| | |
|--|----|
| disección es notable por lo cual se ha definido esta unidad como Colinas remanentes muy disectadas. | 70 |
| Figura 14. Panorámica NW de la unidad de Colinas remanentes muy disectadas “Dcremd”. Se observan las cimas redondeadas y estrechas limitadas por laderas cortas a moderadamente largas con procesos de erosión en terracetos e incipientes procesos de reptación en algunos sectores. Al fondo se aprecia el trazo de la Falla del río Cáchira, con su Escarpe de Falla “Slfe” asociado. Inmediaciones de la vía que comunica al casco urbano de Rionegro con el corregimiento de Galápagos, vereda Galápagos. La línea roja punteada indica el trazo principal de la falla. | 71 |
| Figura 15. Panorámica W de la unidad de Deslizamientos indiferenciados. Geoforma constituida por deslizamientos traslacionales sobre rocas de la Formación Bocas, cuyo material es depositado sobre un drenaje afluente de la quebrada. Aguacaliente, generando avalanchas. | 72 |
| Figura 16. Panorámica NE de la unidad de Cono de deslizamiento traslacional Ddtr. Cerca de la vía que comunica los municipios de Rionegro y El Playón. Suelo residual derivado de sedimentitas de la Formación Bocas (TRb). En línea roja la zona de escarpe. | 73 |
| Figura 17. Esquema representativo de la unidad de Escarpe erosivo menor. Tomado y adaptado de Almeida, B. <i>et al</i> (1995). | 74 |
| Figura 18. Unidad de Escarpe erosivo menor asociado a un antiguo escarpe de abanico aluvial. Se aprecia de fondo con transparencia, los tonos naranjas que indican pendientes escarpadas asociadas a dicha geoforma. Esta unidad se encuentra bordeando la mesa del abanico de Bucaramanga, en los barrios que se ubican sobre las laderas norte y occidental del abanico. | 75 |
| Figura 19. Panorámica S de la unidad Cono y Flujo de detritos Dfe. Imagen satelital adquirida con Google Earth. Se observa el flujo de detritos en un sector de la vereda Los Angelinos al Noroeste del Municipio de Lebrija. | 76 |
| Figura 20. Panorámica N de la unidad Lomeríos disectados Dldi. La distribución espacial la unidad se caracteriza por la repetición de lomas alargadas separadas por una red de drenaje densa. | 77 |
| Figura 21. Panorámica NW de la unidad de lomeríos disectados Dldi. Se observa en el centro de la fotografía los cultivos de cítricos y a la derecha inmediaciones de la vía que comunica las veredas El Progreso y Llamadas, del Municipio de Lebrija. | 77 |
| Figura 22. Aspecto de la unidad de Lomeríos muy disectados. Esta geoforma se caracteriza por presentar redes de drenaje con alto grado de disección, lo que se puede observar en el perfil topográfico generalizado. Estas prominencias topográficas no superan los 200 m de altura en promedio. Vereda Aguablanca, Municipio de Rionegro. | 79 |
| Figura 23. Panorámica SE de la unidad Mesa de Abanico Dmab. Fotografía tomada desde el Municipio de Lebrija en inmediaciones entre las veredas Puyana y El Progreso. Se observa la parte distal del abanico de Bucaramanga | |

| | |
|---|----|
| muy disectado, con evidencias de erosión en cárcavas. La línea roja indica límite entre geoformas. | 80 |
| Figura 24. Esquema ilustrativo de la unidad Montículos y ondulaciones denudacionales. Se puede apreciar que no es una morfología plana sino ondulada en donde cada montículo no supera los 50 m de altura con respecto al nivel base local..... | 81 |
| Figura 25. Panorámica SE de la unidad Montículos y ondulaciones denudacionales. Fotografía tomada desde el sector conocido como Popas en el Municipio de Rionegro. | 81 |
| Figura 26. Panorámica NW de la unidad Montículos y ondulaciones denudacionales “Dmo”. Fotografía tomada desde la vereda El Progreso en el Municipio de Lebrija, se observa la morfología colinada. La línea roja indica límite de geoforma. | 82 |
| Figura 27. Aspecto de la unidad de Planicie “Dp”. Se puede apreciar el color verde con transparencia que representa la categoría de menor pendiente topográfica y en el perfil una zona muy plana que reflejan la unidad en cuestión. En este sector de la vereda Carrizal está el aeropuerto internacional Palonegro de Bucaramanga..... | 83 |
| Figura 28. Imagen satelital extraída de Google Earth, en donde se aprecia la Planicie “Dp” sobre la cual se encuentra el Aeropuerto Palonegro, en la vereda Carrizal (Girón). La Planicie está limitada por el Escarpe de la Falla Suárez “Slfe”. La línea punteada roja indica límite entre geoformas. | 83 |
| Figura 29. Panorámica NW de la unidad de Planicie Colinada Denudada “Dpcd”. Fotografía tomada en inmediaciones de la vía Sabana de Torres a Uribe Uribe..... | 84 |
| Figura 30. Panorámica NW de la unidad de Peneplanicie o Penillanura “Dpn”. Fotografía tomada en cercanías a la Escuela de la vereda Cristales, Municipio de Sabana de Torres. Las líneas rojas indican delimitación de la geoforma. ... | 85 |
| Figura 31. Panorámica NW de la unidad de Sierra denudada. Se puede apreciar el tamaño de esta geoforma, que se extiende por centenares de metros en la región. Inmediaciones de la vía Santa Cruz de la Colina hacia la cuchilla Santa Ana. La unidad geológica corresponde a Rocas ígneas félsicas de la unidad Cuarzomonzonita Jc, que desarrolla en estos sectores suelos residuales..... | 86 |
| Figura 32. (a) Panorámica W de la Cuesta estructural “Sc” de la vereda el Conchal, Municipio de Lebrija. (b) Perfil topográfico de la unidad Cuesta estructural. Se aprecia la suave inclinación y la extensa longitud de la ladera que la conforma. | 89 |
| Figura 33. Esquema ilustrativo de la unidad de Espinazo estructural “Se”. Tomado y adaptado de Almeida, B. <i>et al</i> (1995). | 89 |
| Figura 34. Panorámica W de la unidad de Espinazo “Se” Imagen geomorfológica de dicha unidad, en inmediaciones del sector Uribe Uribe, Municipio de Lebrija. Fotografía tomada desde un avión en vuelo comercial. La línea roja indica el límite entre geoformas..... | 90 |

- Figura 35.** Panorámica SE de la unidad de Espinazo “Se”. Fotografía tomada en inmediaciones del sector de Uribe Uribe, del Municipio de Lebrija. Se aprecia la homogeneidad de esta geoforma, formando una cadena de laderas estructurales de forma triangular asociadas al flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo. También, otras unidades estructurales “Sssle” y denudativas “Dmo”. La línea roja indica el límite entre geoformas.91
- Figura 36.** Panorámica W de la unidad de Espolones festoneados “Sefes” asociados al trazo principal de la Falla Suratá. Esta unidad se presenta sobre rocas ígneas y metamórficas que conforman el Macizo de Santander. Fotografía tomada en inmediaciones de la vía que conduce hacia la vereda Piritá (Charta). La línea punteada roja indica el trazo de la falla.92
- Figura 37.** Panorámica SW de la unidad de Espolones festoneados “Sefes”. Imagen satelital extraída de Google Earth. Se observa la disposición de los espolones, cuasi-perpendicular a la Falla de Tona. La línea punteada roja indica el trazo de la falla.93
- Figura 38.** Panorámica S de la unidad de Espolones estructurales “Ses”. Fotografía tomada en inmediaciones de la vía que comunica al corregimiento de Santa Cruz con la Cuchilla de Santana, Municipio de Matanza. Se observa la morfología alomada y la disposición perpendicular de los espolones ante el trazo del lineamiento de la quebrada Agua Fría. La línea punteada roja indica el trazo de la falla.95
- Figura 39.** Vista panorámica al W mediante Google Earth, de un gancho de flexión de grandes dimensiones asociado al trazo de la Falla Suratá. Vereda La Capilla (Bucaramanga). La línea punteada roja indica el trazo de la falla.96
- Figura 40.** Panorámica W de la unidad de gancho de flexión. Se aprecia la curvatura del gancho está hacia la izquierda del observador, lo cual refleja el comportamiento sinistral de la Falla de Bucaramanga. Vereda Sardinas, Municipio de Rionegro.96
- Figura 41.** Panorámica E de uno de los Lomos de Falla asociados al trazo principal de la Falla de Bucaramanga. Se puede apreciar en la fotografía que hay una alta concentración de movimientos en masa de tipo flujos de tierra sobre esta geoforma. Vereda Espuma Baja, Municipio de Rionegro. La línea punteada indica límite de la geoforma.98
- Figura 42.** Esquema descriptivo de un Escarpe de línea de falla. Tomado y adaptado de Almeida, B. *et al* (1995).99
- Figura 43.** Panorámica W de la unidad de Escarpe de Línea de Falla “Sife”. Fotografía tomada desde la vereda La Malaña (Bucaramanga). Se observa el trazo principal de la Falla Suárez y una franja de depósitos coluviales “Dco”, en el pie del escarpe, asociados a la erosión del bloque exhumado por la falla. También, otras unidades denudativas asociadas al abanico de Bucaramanga, como mesa de abanico, escarpe erosivo menor y ladera erosiva. La línea punteada roja indica límite de geoforma. 100
- Figura 44.** (a) Panorámica SE de la unidad Lomo de Obturación “Slo”. Fotografía tomada desde la vereda La Cuchilla (Matanza). (b) Panorámica NW

de la misma unidad. Se observa una prominencia de morfología alomada con poca disección y ausencia de movimientos en masa. Fotografía tomada desde la vía hacia La Playa. Se presenta un fragmento del mapa morfogenético con la unidad Slo resaltada en Cian. Nótese el desvío del cauce del río Suratá, el cual rodea a la geoforma para seguir su curso con dirección SW. 101

Figura 45. Perfil topográfico de la Meseta estructural “Sm” de la vereda Galápagos, Municipio de Rionegro. Se observa la parte plana limitada por laderas escarpadas. 102

Figura 46. Panorámica E de la vía Galápagos-Centro Menzulí, en donde se observa un depósito coluvial antiguo sobre el Escarpe de meseta encontrado en el sector de Galápagos. 103

Figura 47. Panorámica N de una Ladera de contrapendiente “Ssalc” del Anticlinal de Las Monas. Se caracteriza por su longitud corta, pendiente escarpada y buena cobertura vegetal. Vereda Cristales, Municipio de Sabana de Torres. 104

Figura 48. Perfil topográfico de la Sierra del Anticlinal de Vanegas. Vereda Golconda, Rionegro. Se observa el eje de la estructura paralela a la geoforma. 105

Figura 49. Panorámica E de la unidad de Ladera de contrapendiente de Sierra Homoclinal “Sshlc”. Fotografía tomada desde la Hacienda Santa Clara, en inmediaciones de la vereda Cuesta Rica. 107

Figura 50. Panorámica SE de la unidad de Ladera estructural de Sierra Homoclinal “Sshle”. Imagen satelital en vista 3D extraída de Google Earth. Se detalla la morfología recta y elongada de esta unidad, que a diferencia de Sshlc, tiene pendiente inclinada y la longitud es moderadamente larga. La línea roja indica límite entre geoformas. 108

Figura 51. Panorámica NW de la unidad de Lomo de Presión “Sslp”. Imagen satelital extraída de Google Earth. Se detalla la morfología alomada del lomo y su limitación estructural por dos fallas geológicas. Las líneas punteadas indican lineamientos estructurales. 109

Figura 52. Panorámica E de la unidad de Lomo de Presión “Sslp”, tomada desde la vereda San Pablo (Rionegro). Se observa la morfología alomada y elongada de este cerro aislado asociado al trazo de la Falla de Bucaramanga. La línea punteada indica límite entre geoformas. 110

Figura 53. Panorámica NE de la unidad de Sierra Sinclinal. Imagen satelital extraída de Google Earth. Se aprecia la prominencia topográfica a manera de sierra típica del eje de una estructura sinclinal, en este caso, el Sinclinal de Vanegas. Vereda Centro de Menzulí (Rionegro), confluencia del río Cáchira con el río Lebrija. La línea punteada indica el eje del anticlinal. 111

Figura 54. Imagen de la interpretación geomorfológica de un Plano aluvial confinado “Svc”, en el sector de la vereda Puerto Santos (Sabana de Torres). Se observa el lineamiento estructural de dirección N-S y la zona de pendiente plana que corresponde a dicha geoforma. 113

| | |
|--|-----|
| Figura 55. Vista de planta de las Barras longitudinales “Fbl” en el río Sogamoso. Sector Puerto Bello en la vereda La Putana del Municipio de Betulia. Imagen satelital tomada de Google Earth. | 114 |
| Figura 56. Panorámicas de la unidad de Cauce aluvial activo Fca observadas en el río Lebrija: a) Panorámica NW en inmediaciones de la vereda Boca de La Tigra, Municipio de Sabana de Torres; b) Panorámica W desde la vereda Tambo Quemado del Municipio de Rionegro; c) Panorámica NW desde la finca Águilas en la vereda Popas del Municipio de Rionegro. | 115 |
| Figura 57. Esquema ilustrativo de un Cono de deyección “Fcdy”. Tomado y adaptado de Almeida, B. <i>et al</i> (1995). | 116 |
| Figura 58. Esquema ilustrativo de la unidad de meandros abandonados Fma. Tomado y adaptado de Almeida, B. <i>et al</i> (1995). | 117 |
| Figura 59. Panorámica de la unidad de meandro abandonado Fma. Imagen satelital extraída y editada de Google Earth. Sector de vereda La Martha, Sabana de Torres. | 117 |
| Figura 60. Panorámica del corregimiento de Cachirí (Suratá), el cual se encuentra sobre un antiguo cono de deyección que por tectonismo se convirtió en una Planicie aluvial confinada. | 118 |
| Figura 61. Panorámica NW de la unidad de planicie de inundación Fpi. Fotografía tomada desde la vereda Tambo Quemado del Municipio de Rionegro. Se observa la gran extensión que tiene esta unidad, caracterizándose por su morfología plana a ondulada. | 119 |
| Figura 62. Esquema ilustrativo de la unidad de Terrazas de acumulación “Fta”. Tomado y adaptado de Almeida, B. <i>et al</i> (1995). | 120 |
| Figura 63. Panorámica NW de la unidad de terraza de acumulación Fta, registrada desde la finca Águilas, de la vereda Popas (Rionegro). Se observa la morfología ondulada y su asociación al cauce fluvial del río Lebrija, en el sector de la vereda El Tambor. | 120 |
| Figura 64. Perfil topográfico donde se observa el Escarpe de una terraza sub-reciente. Vereda La Martha, Girón. | 121 |
| Figura 65. Imagen extraída de Google Earth, donde se observa el corregimiento de Bocas (Girón) que se encuentra sobre una terraza antigua del río Lebrija, en la zona de confluencia con el río Negro. | 122 |
| Figura 66. Esquema ilustrativo 3D, en el cual se muestra una panorámica regional con el modelo de Sombras y las unidades geomorfológicas asociadas con la geología del subsuelo correspondientes a un perfil este - oeste de la Plancha 109-Rionegro. | 126 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Rangos de intervalos de altura o relieve relativo (SGC, 2012) | 24 |
| Tabla 2. Rangos de inclinación de la ladera (SGC, 2012) | 25 |
| Tabla 3. Rango de longitud de la ladera (SGC, 2012) | 25 |
| Tabla 4. Rangos de forma de ladera (SGC, 2012) | 26 |
| Tabla 5. Forma de crestas y valles (SGC, 2012) | 27 |
| Tabla 6. Área en hectáreas y porcentaje que ocupa cada una de los ambientes y unidades geomorfológicas encontrados en la Plancha 109-Rionegro..... | 64 |

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cartera de Campo

RESUMEN

En esta memoria técnica explicativa del mapa de unidades geomorfológicas de la Plancha 109-Rionegro a escala 1:100.000, se describen las características de unidades que integran el paisaje, presentes en los municipios de Bucaramanga, Suratá, Matanza, Rionegro, El Playón, Tona, Lebrija, Girón, Sabana de Torres pertenecientes al Departamento de Santander. Para esto, se adoptó la “Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000” (SGC, 2012) que tiene en cuenta los atributos de morfometría, morfogénesis y morfodinámica.

En el área de estudio, se identificaron tres ambientes morfogenéticos responsables del modelado de las geoformas presentes: el ambiente estructural donde las características morfológicas del terreno se deben principalmente a la dinámica interna de la Tierra, el ambiente denudacional donde predominan los efectos de los procesos de meteorización y erosión y un ambiente fluvial - lagunar asociado a la dinámica de los ríos y sus procesos de erosión y depositación. En total se identificaron 53 unidades geomorfológicas asociadas a estos ambientes.

Al ambiente estructural se asocian 25 unidades geomorfológicas y cubre un 46,55% del área; éstas se localizan principalmente en la parte oriental de la plancha en la Provincia estructural denominada Piedemonte occidental de la Cordillera Oriental (II) (INGEOMINAS, 2009) y se asocian a las formaciones sedimentarias del Cretácico las cuales se encuentran plegadas y falladas, así como a unidades de basamento que han sido afectada por fallamiento. En el ambiente denudacional que abarca un 39,51 % del área, se identificaron 18 unidades, las cuales se localizan en las provincias Occidental VMM (IV) y Central VMM (III) (INGEOMINAS, 2009), su expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial, que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas preexistentes, geológicamente se presentan en las unidades más antiguas y en la Formación Mesa del Neógeno. Al ambiente Fluvial - Lagunar se asocian 10 unidades, que comprenden el 13,94% del área, estas unidades son el resultado de la dinámica de los principales ríos de la zona, entre ellos el río de Oro, Rionegro, Suratá, Lebrija y Sogamoso.

La expresión geomorfológica actual es el resultado acumulado de una serie de eventos naturales que han modificado el relieve. Los sinclinales y anticlinales formados durante la tectónica compresiva del Paleoceno-Mioceno fueron exhumados dando lugar a sierras sinclinales y anticlinales que posteriormente fueron afectadas por la intensa erosión, definiendo un ambiente denudativo caracterizado por un relieve relativo muy bajo, en donde los pliegues y cabalgamientos ya no presentan una clara expresión geomorfológica. Así mismo los procesos tectónicos que han dado lugar a importantes fallas, permitieron la Formación geoformas como lomos, espolones, sierras, entre otras, las cuales se presentan predominantemente sobre rocas del macizo de Santander con alto grado de fracturamiento y con presencia de movimientos en masa del tipo Deslizamientos rotacionales y traslacionales, así como flujos y caídas. Con el levantamiento orogénico se originó una red de drenaje que fluye desde los flancos de la Cordillera Oriental alimentando al río Magdalena. Como resultado de la dinámica hídrica se ha originado un ambiente fluvial en el que las principales geoformas corresponden a los cauces de los principales ríos, terrazas aluviales y llanuras de inundación formadas por eventos de inundación, erosión, profundización y migración de los ríos. También se incluyen dentro de este ambiente, eventos fluviotorrenciales antiguos como el abanico de Bucaramanga y eventos más recientes como algunos conos de deyección.

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

ABSTRACT

This technical explanatory report of the geomorphological units map corresponding to the sheet 109-Rionegro, scale 1:100.000, describes the characteristics of different units that make up the landscape, and that are present in the Municipalities of Bucaramanga, Suratá, Matanza, Rionegro, El Playón, Tona, Lebrija, Girón and Sabana de Torres, in the Department of Santander. To achieve this, the “Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000” (SGC, 2012) was adopted and takes into account the morphometry, morphogenesis and morphodynamic attributes.

In the area of study, three morphogenetic environments were identified, these environments were responsible for the modeling of the present forms: the structural environment where the morphological characteristics of the terrain are due mainly to the inner dynamics of the Earth, the denudational environment where the effects of weathering and erosion prevail and the fluvial-lagoonal environment associated to the rivers' dynamics and their erosion and deposition processes. In total, 53 geomorphological units were identified, associated to these environments.

25 geomorphological units were associated to the structural environment, and they cover a 46.55% of the area. These are located mainly in the east part of the sheet in the structural province called Piedemonte Occidental de la Cordillera Oriental (II) (INGEOMINAS, 2009), and are associated to the Cretaceous sedimentary formations, which are folded and faulted, and to basement units that have been affected by faulting. The denudational environment covers a 39.51% of the area and 18 identified units were associated to it; they are localized in the Provinces: Occidental VMM (IV) and Central VMM (III) (INGEOMINAS, 2009). Its morphologic expression is defined by the combined action of moderate to severe processes of weathering, erosion and transport with a gravitational and pluvial origin. These processes have remodeled and left remnants of the pre-existing landforms. Geologically, it is presented over the oldest units and in the Mesa Formation of the Neogene. 10 units are associated to the fluvial-lagoonal environment, which comprises the 13.94% of the area. These units are the result of the dynamics of the main

rivers in the region, including the rivers: río de Oro, Rionegro, Suratá, Lebrija and Sogamoso.

The current geomorphological expression is the cumulative result of a series of natural events that have changed the topography. The synclines and anticlines formed during a compressive tectonism in the Paleogene-Miocene were exhumed, resulting in synclines and anticlines mountain ranges that subsequently were affected by the intense erosion, defining a denudational environment characterized by a very low topography, where the folds and thrusts are no longer a clear geomorphological expression. Furthermore, the tectonic processes that have led to major faults enabled the formation of landforms as loins, lugs, saws, among others, which occur predominantly on rocks of the Massif of Santander with a high grade of fracturing and presence of mass movements. With the orogenic uplifting a drainage network that flows from the flanks of the Cordillera Oriental was originated, and it supplies the Magdalena River. The dynamics of the hydric system have originated the fluvial environment where the main landforms correspond to the channels of the major rivers, alluvial terraces and flood plains that were formed by events of flooding, erosion, deepening and migration of the rivers. Old flash flood events are also included in this environment, such as Bucaramanga's fan, and more recent events like some cones of dejection.

The applied geomorphology is a strategic tool for the evaluation and projection of the terrain behavior because it is focused towards the classification of the relief in order to achieve the grouping of natural materials (rocks and soils) into units with similar characteristics and a common origin, where such landforms are the result of eroding agents. This is why the resulting geomorphological map constitutes a basic input for the zoning of mass movements' relative threat.

INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

A continuación se presenta la *Memoria Técnica Explicativa del Mapa Geomorfológico Aplicado a la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:100.000. Plancha 109-Rionegro, Departamento de Santander.*

OBJETIVO GENERAL

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

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compilar y analizar los insumos básicos y temáticos disponibles.
- Generar el mapa preliminar de unidades geomorfológicas a partir del análisis e interpretación de sensores remotos (modelo digital de elevación, mapas de sombras, mapas de pendientes e imágenes satelitales).
- Elaborar el mapa geomorfológico final a partir del preliminar y del resultado de las actividades de campo.
- Elaborar la memoria explicativa de los ambientes y unidades geomorfológicas cartografiadas para la Plancha 109-Rionegro.
- Realizar la interpretación de la evolución geomorfológica del área de estudio como parte de la memoria explicativa y generar un Bloque-diagrama que ilustre el contexto geomorfológico de la zona.

LOCALIZACIÓN

El área de estudio corresponde a la Plancha 109-Rionegro a escala 1:100.000, la cual se ubica en la Provincia de Soto Norte del Departamento de Santander y abarca parte de la jurisdicción de los municipios de Bucaramanga, Girón, Matanza, Tona, Rionegro, El Playón, Lebrija, Sabana de Torres y una pequeña parte de Betulia (IGAG, 2005) (Figura 1).

La zona de trabajo se encuentra dentro del polígono definido por las siguientes coordenadas, con Datum MAGNA SIRGAS origen Central:

| | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| NW: X: 1.060.000 – Y: 1.320.000 | NE: X: 1.120.000 – Y: 1.320.000 |
| SW: X: 1.060.000 – Y: 1.280.000 | SE: X: 1.120.000 – Y: 1.280.000 |

En total son 2400 Km² de área que cubre la Plancha 109-Rionegro.

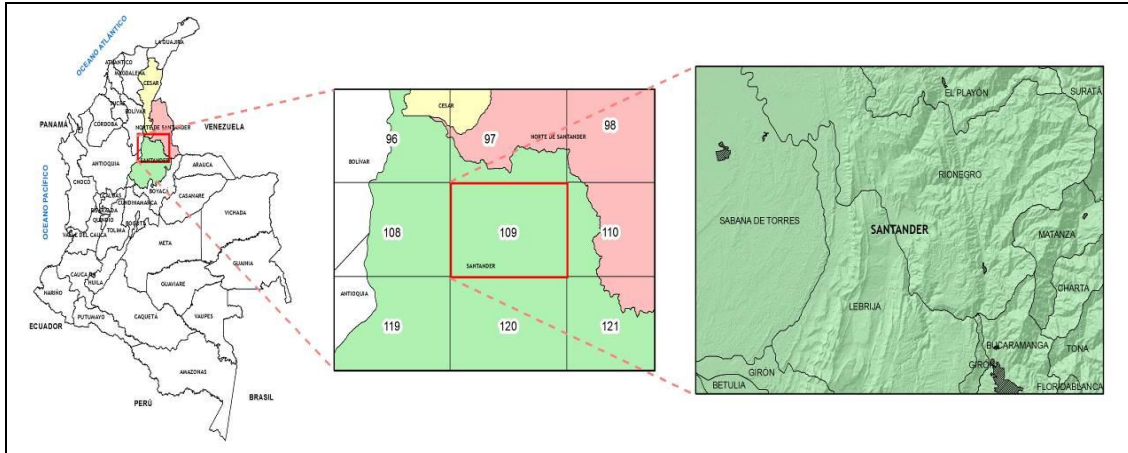


Figura 1. Localización Plancha 109-Rionegro, en el Departamento de Santander.

Dentro de la Plancha 109-Rionegro, el principal casco urbano corresponde a Bucaramanga, capital del Departamento de Santander y una de las principales ciudades de la república colombiana. Uno de los proyectos importantes que son jurisdicción de este municipio es el embalse de Tona y varios proyectos de ampliación vial en el casco urbano, así como obras de construcción de vivienda y complejos recreativos-turísticos aledaños a la cabecera municipal que se desarrollan actualmente, como el puente vehicular de la carrera novena. En general, la zona de estudio abarca algunas veredas del sector norte de Bucaramanga, como El Pablón, Angelinos y el sector Colorados.

METODOLOGÍA APLICADA

Para la realización del mapa geomorfológico correspondiente a la Plancha 109-Rionegro, a escala 1:100.000 se siguió la metodología descrita a continuación, la cual toma como referencia la *Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000* (SGC, 2012).

A. Jerarquización geomorfológica

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Representa el máximo nivel detalle. Abarca los rasgos del relieve (escarpes naturales o antropogénicos, relieves internos de laderas o flancos crestas,

formas de valle, etc.) que se definen en sitios puntuales, determinados por la morfometría detallada del terreno en una subunidad geomorfológica; también puede estar definida por microrelieves asociados a una característica litológica.

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

La cartografía o análisis geomorfológico con base en *Unidades Geomorfológicas* tiene como alcance la reconstrucción de la historia antigua, presente y futura (génesis, procesos y edad) del relieve de una región en particular (Carvajal, 2011). A su vez es aplicable a la evaluación ambiental y planes de ordenamiento territorial y particularmente al manejo de tierras, zonificaciones geotécnicas y sísmicas de ciudades, planificación del desarrollo de recursos, planificación en el uso de tierras, planificación de proyectos y a la política de riesgos naturales (Slaymaker, 2001, citado por Carvajal, 2011). Dentro de las limitantes esta que la identificación de las formas del relieve se ha basado normalmente en su génesis de Formación y la morfología, por lo tanto, los mecanismos de generación, difícilmente se pueden separar (SGC, 2012). Además, debido a la escala de trabajo parte de la información morfológica del terreno que no alcanza las dimensiones necesarias para ser cartografiada, puede llegar a ser desaprovechada (Figura 2).

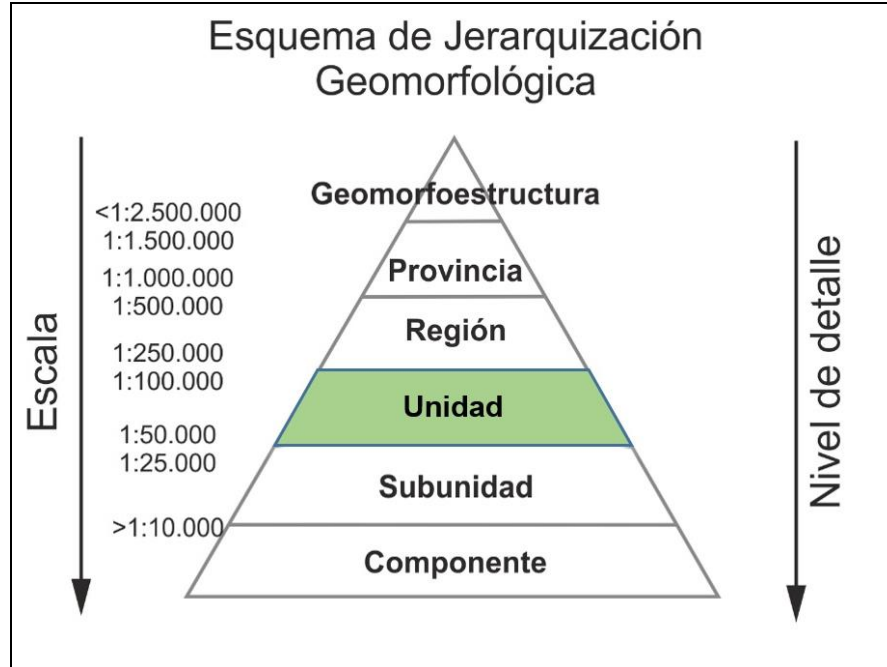


Figura 2. Esquema de Jerarquización Geomorfológica (Modificado SGC, 2012).

B. Ambientes morfogenéticos

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

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

- **Ambiente morfoestructural:** Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra (procesos endógenos), especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos. Incluye el ambiente neotectónico que son geoformas originadas por la actividad tectónica activa y que se ha prolongado durante el Cuaternario, (SGC, 2012). El color utilizado en la cartografía para los paisajes de este ambiente es púrpura.

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

C. Otros conceptos necesarios

A continuación se definen otros conceptos necesarios para la realización del mapa geomorfológico a escala 1:100.000 de la Plancha 109-Rionegro, con base en la Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000 (SGC, 2012).

- **Contraste de relieve o relieve relativo:** Hace referencia a la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja de ésta, independiente de la altura absoluta o el nivel del mar. Es un atributo que indica la energía potencial de un sistema de drenaje y los materiales constitutivos de la geoforma (Tabla 1).

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

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

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

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

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

- Longitud de la ladera: Es un indicador de la homogeneidad del material constitutivo de las geoformas; puede determinar una mayor superficie para el desarrollo de los procesos morfodinámicos (Tabla 3).

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

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

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

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

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

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

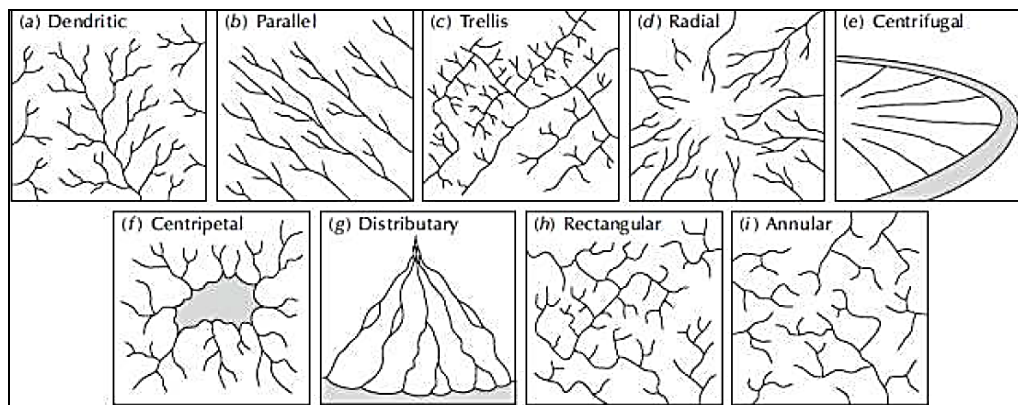


Figura 3. Patrones de drenaje (Huggett, (2007) en SGC, 2012).

- Forma de crestas y valles: Las divergencias entre las formas características que presenta el relieve se considera como un parámetro

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

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

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

- **Morfogénesis:** Implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma del paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos que lo crean y de la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno.
- **Morfoestructura y Litología:** indica el modelado del relieve, según composición, disposición y dinámica interna de la tierra.

La morfoestructura incide en el modelado del paisaje según: condición pasiva que tiene en cuenta las formas resultantes de los procesos o deformaciones tectónicas (activas o inactivas) expresadas en el relieve de la superficie terrestre, con dimensiones y configuraciones variables; y la condición activa que corresponde a los procesos morfogenéticos endógenos asociados tanto a la deformación como al fracturamiento tectónico.

- Morfodinámica: La morfodinámica es la parte de la geomorfología que trata de los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos), tanto antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas o unidades de terreno.

PROCESO METODOLÓGICO

Para la elaboración de la cartografía geomorfológica de la Plancha 109-Rionegro, Departamento de Santander, se siguió el proceso metodológico planteado en la propuesta del Servicio Geológico Colombiano, que presenta calificaciones que permiten cuantificar la zonificación de cada unidad geomorfológica de terreno cartografiable a escala 1:100.000. El flujograma de la Figura 7 resume los pasos que se plantean seguir para la consecución de los objetivos.

a. Recolección de insumos básicos y temáticos necesarios:

Como primer paso para la elaboración del mapa geomorfológico de la Plancha 109-Rionegro a escala 1:100.000, se recolecta información denominada *Insumos Necesarios*, la cual comprende *Insumos Básicos Necesarios* y los *Insumos Temáticos Necesarios*. Los Insumos básicos necesarios incluyen imágenes satelitales, modelos digitales de elevación del terreno, la cartografía base del IGAC, a escala 1:100.000 y sensores remotos; mientras que los Insumos Temáticos Necesarios abarcan los mapas Geológicos, incluyendo los mapas de fallas, a escala 1:100.000

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

b. Preparación y análisis de la información recolectada

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

- Procesamiento de la Información

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

c. Generación del mapa geomorfológico preliminar

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

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

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

d. Comprobación en campo del mapa geomorfológico preliminar

El trabajo de campo se realiza con el objeto de comprobar las unidades geomorfológicas que fueron identificadas durante la interpretación realizada en oficina, así como para identificar geoformas que no se delimitaron durante dicha interpretación.

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

En campo también se registran los movimientos en masa activos que se encuentren en el área de estudio; como inventario si presentan un área mayor a 2.500 m², o como catálogo, si son menores a dicha área. En caso que se

encuentren movimientos en masa mayores a 40.000 m², se trazan como unidades en el mapa geomorfológico.

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

e. Revisión final del mapa geomorfológico

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

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

f. Realización de la memoria técnica explicativa

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

| Fecha: D M A | | Plancha: _____ | | Estación: _____ | | | |
|-----------------------------------|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|--|---------------|--|
| Lugar | | Posición Geográfica | | Referente Geográfico: | | | |
| Departamento: _____ | | X: _____ | | | | | |
| Municipio: _____ | | Y: _____ | | | | | |
| Vereda: _____ | | Z: _____ | | | | | |
| Sitio: _____ | | Proyección Magna: _____ | | | | | |
| Morfogénesis | | Morfología - Morfometría | | | | | |
| Morfotectónica | | Tipo de Relieve | | Índice de Relieve | | | |
| Volcánico | | Montañoso > de 400 m | | Muy Bajo (< 50 m) | | | |
| Denudacional | | Colina 200 - 400 m | | Bajo (50 - 250 m) | | | |
| Fluvial - Deltaico - Lagun | | Loma 50 - 200 m | | Moderado (250 - 500 m) | | | |
| Marino - Costero | | Montículo < 50 m | | Alto (500 - 1000 m) | | | |
| Glaciar | | | | Muy Alto (>1000 m) | | | |
| Eólico | | | | Muy Bajo (< 5°) | | | |
| Kárstico | | | | Inclinada (6° - 10°) | | | |
| Antropogénico / Biológico | | | | Muy Inclinada (11° - 15°) | | | |
| | | | | Abrupta (16° - 20°) | | | |
| | | | | Muy Abrupta (21° - 30°) | | | |
| | | | | Escarpada (31° - 45°) | | | |
| | | | | Muy Escarpada (> 45°) | | | |
| | | | | Longitud de la ladera | | | |
| | | | | Muy Corta (< 50 m) | | | |
| | | | | Corta (50 - 250 m) | | | |
| | | | | Moderadamente Larga (250 - 500 m) | | | |
| | | | | Larga (500 - 1000 m) | | | |
| | | | | Muy Larga (1000 - 2500 m) | | | |
| | | | | Extremadamente Larga (> 2500 m) | | | |
| | | | | Forma de la Ladera | | | |
| | | | | Rectilínea | | | |
| | | | | Cóncava | | | |
| | | | | Convexa | | | |
| | | | | Irregular | | | |
| | | | | Compleja | | | |
| Características de Drenaje | | | | | | | |
| Forma de Canal | | Densidad de Drenaje | | Frecuencia de Drenaje | | | |
| En U Abierto | | Baja (< 0,5 Km/Km2) | | Muy Alta (> 40) | | | |
| En U Cerrado | | Moderada (0,5 - 1,0) | | Alta (20 - 40) | | | |
| En V Abierto | | Alta (> 1,0) | | Media (10 - 20) | | | |
| En V Cerrado | | | | Baja (5 - 10) | | | |
| | | | | Muy Baja (> 5) | | | |
| | | | | Textura de Drenaje | | | |
| | | | | Gruesa | | | |
| | | | | Mediana | | | |
| | | | | Fina | | | |
| | | | | Muy Fina | | | |
| | | | | Patrón de Drenaje | | | |
| | | | | Detritico | | | |
| | | | | Subdetritico | | | |
| | | | | Paralelo | | | |
| | | | | Subparalelo | | | |
| | | | | Pinado | | | |
| | | | | Rectangular | | | |
| | | | | Radial | | | |
| | | | | Anular | | | |
| | | | | Multicuenca | | | |
| | | | | Contorsionado | | | |
| | | | | Otro: _____ | | | |
| Grado de Meteorización | | | | | | | |
| Fresca | | Tipo de Movimiento | | Movimiento en Masa | | | |
| Meteorización Débil | | Caída | | Tipo de Material | | | |
| Meteorización Moderada | | Volcamiento | | Roca | | | |
| Meteorización Alta | | Deslizamiento Rotacional | | Detritos | | | |
| Descompuesta | | Deslizamiento Translacional | | Suelo | | | |
| | | Reptición | | Lodos | | | |
| | | Flujos | | Turba | | | |
| | | Propagación Lateral | | Estado | | | |
| | | Avalancha | | Activo | | | |
| | | Compuesto o Múltiple | | Inactivo | | | |
| | | | | Suspendido | | | |
| | | | | Reactivo | | | |
| Tipo de Material | | | | | | | |
| Saprolito Grueso | | Tipo de Erosión | | Espaciamiento de Canales (m) | | | |
| Saprolito Fino | | Laminar | | (< 5) | | | |
| | | Surcos | | (5 - 15) | | | |
| | | Barrancos | | (15 - 50) | | | |
| | | Circavas | | (50 - 150) | | | |
| | | Socavación | | (150 - 500) | | | |
| | | Tierras Molas | | (> 500) | | | |
| | | Terracetos | | Intensidad de Erosión | | | |
| | | Eólica | | Suave | | | |
| | | Glaciar | | Moderada | | | |
| | | Cárstica | | Severa | | | |
| | | Marina | | | | | |
| Tipo de Suelo | | | | | | | |
| Aluvial | | | | Notas: | | | |
| Lagunar | | | | | | | |
| Deltaico | | | | | | | |
| Eólico | | | | | | | |
| Glaciar | | | | | | | |
| Volcánico | | | | | | | |
| Residual | | | | | | | |
| Coluvial | | | | | | | |
| Flujo de Lodo | | | | | | | |
| Talud | | | | | | | |
| Bloques | | | | | | | |
| Conos de Deyección | | | | | | | |
| Otro: _____ | | | | | | | |
| | | | | | | Fotos: | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Figura 4. Formato para la recolección de datos geomorfológicos, UIS (2012).

| FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012 | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------------------|--|-----------|------------------------|--------------|----------|--------------|--------------------|-------------------|--|
| Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas | | | | | | | | IMPORTANCIA* | | | |
| | | | | | | | | Alta | Media | Baja | |
| ENCUESTADOR* | | | | | | | | | | | |
| FECHA EVENTO* | | | | | | | | | | | |
| FECHA REPORTE* | | | | | | | | | | | |
| INSTITUCIÓN* | | | | | | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA | | | | | DOCUMENTACIÓN | | | | | | |
| POR DIVISION POLITICA | | COORDENADAS GEOGRÁFICAS | | | REFERENTES GEOGRÁFICOS | | PLANCHAS | | FOTOGRAFIAS AEREAS | | |
| Departamento* | | Sitio* | | | PLANCHAS | | ANO | | EDITOR | | |
| Municipio* | | Lat (GMS)* | | | ANO | | ESCALA | | Nro Vuelo | | |
| Vereda* | | Long (GMS)* | | | EDITOR | | EDITOR | | Nro Foto | | |
| | | Altura* | | | | | | | Año | | |
| | | Proyeccion: Magna * | | | | | | | Escala | | |
| | | | | | | | | | Editor | | |
| ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO | | | | | LITOLOGIA Y ESTRUCTURA | | | | | | |
| EDAD | | ESTADO | | ESTILO | | DISTRIBUCION | | DESCRIPCION | | ESTRUCTURA | |
| < 1 año | | Activo | | Complejo | | Retrogrado | | | | Estructura | |
| 1-5 años | | Reactivado | | Compuesto | | Avanzado | | | | Orientación | |
| 6-10 años | | Suspendido | | Múltiple | | Ensamblado | | | | Espaciamiento (m) | |
| 11-15 años | | INACTIVO | | Sucesivo | | Confinado | | | | DR | |
| 16-20 años | | Latente | | Único | | Creciente | | | | BZ | |
| > 80 años | | Abandonado | | | | Decreciente | | | | >2 | |
| | | Estabilizado | | | | Móvil | | | | 2-0.6 | |
| | | Relicto | | | | | | | | 0.6-0.2 | |
| | | | | | | | | | | 0.2-0.06 | |
| | | | | | | | | | | <0.06 | |
| Nota: Incluir minimo origen de la roca,(I,M ó S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos | | | | | | | | | | | |
| TIPO MOVIMIENTO | | | | | | | | | | | |
| SUBTIPO MOVIMIENTO | | | | | | | | | | | |
| TIPO MATERIAL | | | | | | | | | | | |
| HUMEDAD | | | | | | | | | | | |
| PLASTICIDAD | | | | | | | | | | | |
| ORIGEN SUELO | | | | | | | | | | | |
| TIPO DEPOSITO (origen suelo sedimentario) | | | | | | | | | | | |
| VELOCIDAD | | | | | | | | | | | |
| SISTEMA DE CLASIFICACION* | | | | | | | | | | | |
| MORFOMETRIA | | | | | | | | | | | |
| DEFORMACION TERRENO | | | | | | | | | | | |
| GEOFORMA | | | | | | | | | | | |
| CAUSAS DEL MOVIMIENTO | | | | | | | | | | | |
| CONTRIBUYENTES - DETONANTES | | | | | | | | | | | |
| TIPO DE EROSION | | | | | | | | | | | |
| SUPERFICIAL | | | | | | | | | | | |
| SUBSUPERFICIAL | | | | | | | | | | | |
| EDAD | | | | | | | | | | | |
| ESTADO | | | | | | | | | | | |
| FLUVIAL | | | | | | | | | | | |
| EOLICA | | | | | | | | | | | |
| COBERTURA DEL SUELO | | | | | | | | | | | |
| USO DEL SUELO | | | | | | | | | | | |
| AUTOR | | | | | | | | | | | |
| ANO | | | | | | | | | | | |
| REFERENCIAS | | | | | | | | | | | |
| TITULO | | | | | | | | | | | |
| EDITOR | | | | | | | | | | | |
| CIUDAD | | | | | | | | | | | |
| PAGINAS | | | | | | | | | | | |

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (*) SON OBLIGATORIOS

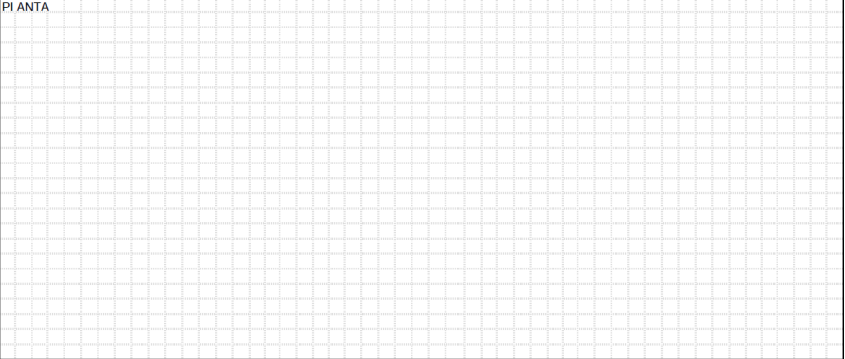
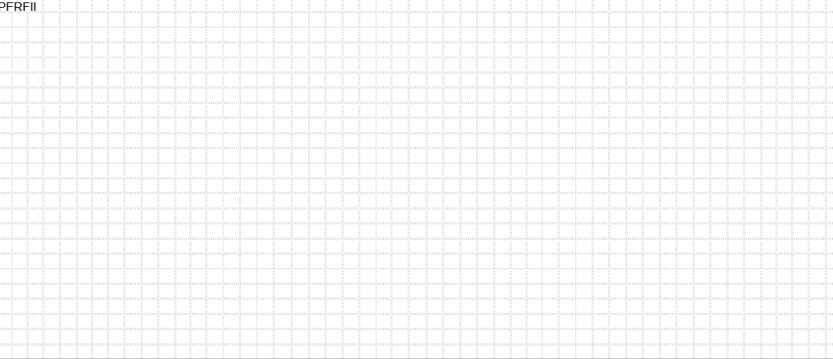
Figura 5. Formato para la recolección de información sobre movimientos en masa, (SGC, 2012). Parte A

| EFECTOS SECUNDARIOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|------------------|----------------------|--|--------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
| TIPO (Costa & Schuster, 1988) | | MORFOMETRIA DE LA PRESA | | | | REPRESENTACION MORFOMETRIA DEL EMBALSE | | | | CONDICIONES DE LA PRESA | | | | OTROS EFECTOS | | | |
| I | <input type="checkbox"/> | Longitud (m) | <input type="text"/> | Volumen (m³) | <input type="text"/> | Longitud (m) | <input type="checkbox"/> | Area cuenca (m²) | <input type="checkbox"/> | Obstrucción parcial | <input type="checkbox"/> | Moderadamente socavada | <input type="checkbox"/> | Tsunami (alt. ola) | <input type="checkbox"/> | Inundación | <input type="checkbox"/> |
| II | <input type="checkbox"/> | Altura (m) | <input type="text"/> | Talud arriba (*) | <input type="text"/> | Area (m²) | <input type="checkbox"/> | Caudal entrada | <input type="checkbox"/> | Erosión de la pata | <input type="checkbox"/> | Fuertemente socavada | <input type="checkbox"/> | Empalizada | <input type="checkbox"/> | Sedimentación | <input type="checkbox"/> |
| III | <input type="checkbox"/> | Ancho (m) | <input type="text"/> | Talud abajo (*) | <input type="text"/> | Volumen (m³) | <input type="checkbox"/> | Caudal salida | <input type="checkbox"/> | Estabilización artificial | <input type="checkbox"/> | Parcialmente fallada | <input type="checkbox"/> | Sismo | <input type="checkbox"/> | | |
| | | | | | | Nivel agua bajo corona (m) | <input type="checkbox"/> | Tasa de llenado | <input type="checkbox"/> | Ligeramente socavada | <input type="checkbox"/> | Fallada | <input type="checkbox"/> | | | | |

| DAÑOS | | | | |
|---|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| POBLACION AFECTADA | INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONOMICAS, DAÑOS AMBIENTALES | | | |
| | TIPO | CANTIDAD | UNIDAD | TIPO DAÑO VALOR (US\$) |
| Heridos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Vidas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Desaparecidos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Personas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Familias | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| TIPO DE DAÑO: Infraestructura: edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios publicos, via ferrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, capa asfaltica, galpones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. Económicos: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. Ambientales: parques, bosques, planta tratamiento de agua. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable

| NOTAS | APRECIACION DEL RIESGO | ANEXO FOTOGRAFICO | | | |
|-------|------------------------|-------------------|------------|----------------|---------------|
| | | FECHA | FOTOGRAFIA | AUTOR/DERECHOS | OBSERVACIONES |
| | | | | | |
| | | | | | |

| ESQUEMA DEL MOVIMIENTO | |
|---|--|
| PI ANTA | PFRFII |
|  |  |
| FECHA | OBSERVACIONES |
| | |

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (*) SON OBLIGATORIOS

Figura 6. Formato para la recolección de información sobre movimientos en masa, (SGC, 2012). Parte B.

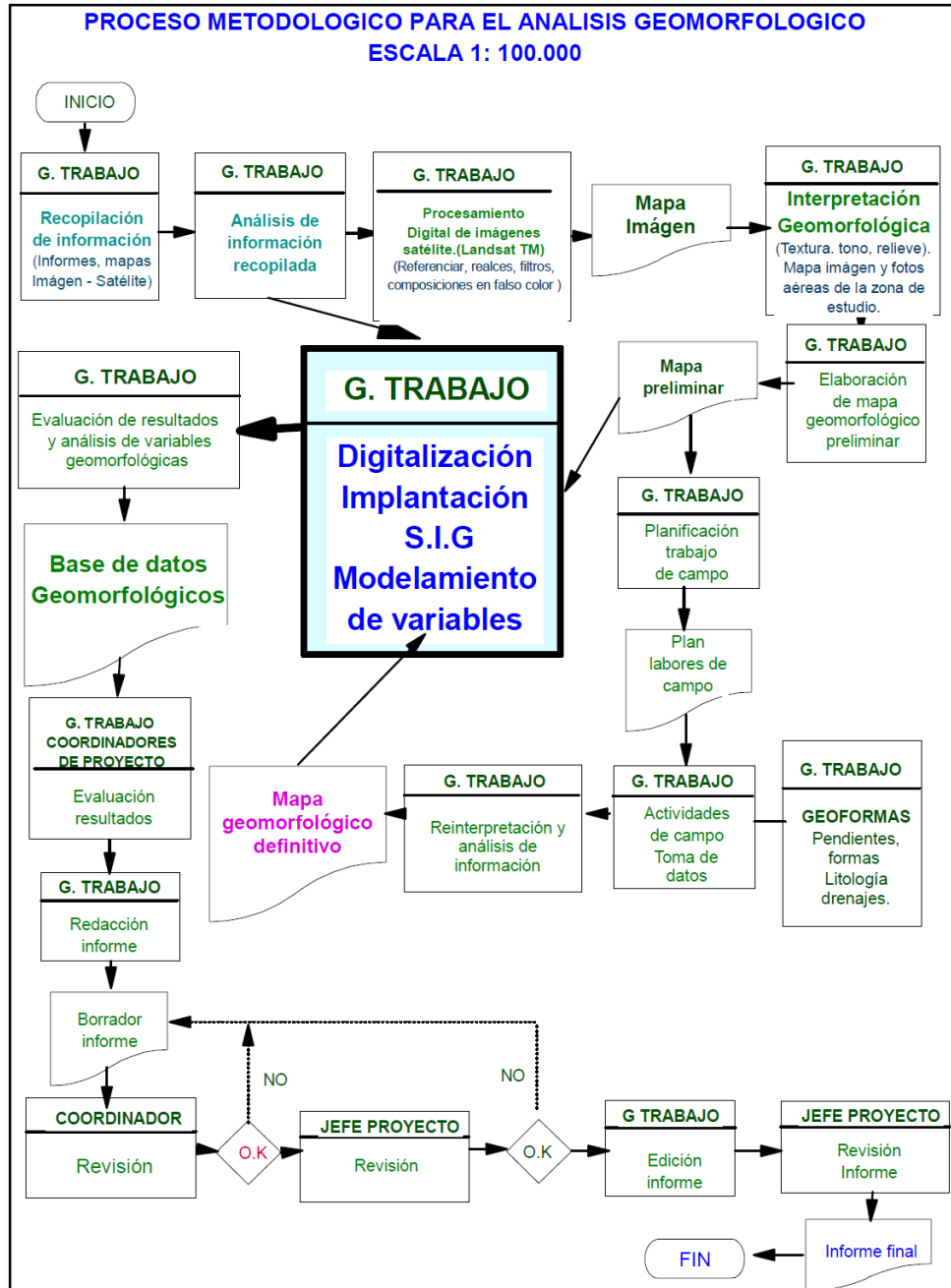


Figura 7. Flujoograma detallado del proceso metodológico seguido en la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000.

ALCANCES

Este documento hace parte del análisis necesario para la generación del mapa Geomorfológico Aplicado a movimientos en masa de la Plancha 109-Rionegro, donde se describen las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio a partir de los ambientes definidos previamente. La cartografía geomorfológica se realizó a una escala 1:100.000, clasificada bajo el esquema de jerarquización geomorfológica como “Unidad” (Modificado SGC, 2012). Esta cartografía aporta información sobre los procesos naturales que han dado lugar al paisaje actual y los que siguen modelando el terreno actualmente. Para esto se ha contextualizado el origen de dichas unidades en un marco geológico, cuya dinámica y o evolución en la mayoría de los casos se expresa en la morfología de la superficie. Las variables geológicas que influyen en la evolución de las geoformas de igual manera contribuyen en la estabilidad de las mismas, ya que estas encierran la composición del material expuesto y el comportamiento que lo está afectando. Cuando se definen los atributos morfogenéticos del área de trabajo, como se hizo en el presente estudio, no solo es posible hacer una reconstrucción de la historia evolutiva de las unidades geomorfológicas, sino que se provee al investigador de los argumentos necesarios para sustentar el comportamiento futuro de las geoformas actuales. Además de los procesos endógenos creadores del relieve, relacionados con la geología de la zona, se incluyen los procesos exógenos definidos por los procesos morfodinámicos (erosión y movimientos en masa) identificados en el terreno, los cuales modelan el relieve ya que éste genera la gradación o degradación de las unidades geomorfológicas, y por tanto la inestabilidad del material involucrado. Con el atributo morfodinámico determinado se busca recopilar las geoformas integrándolas con la distribución espacial de los movimientos en masa identificados en el inventario.

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

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

El Departamento de Santander es atravesado por la Cordillera Oriental, que en la zona de estudio, está limitada al este por la Falla de Bucaramanga que controla el cauce de los ríos Playonero y Rionegro. Esta zona se caracteriza por ser montañosa constituyéndose como un bloque de basamento antiguo levantado, que da lugar a geoformas de origen estructural. Hacia el flanco oeste de la Falla de Bucaramanga se tiene una zona de altitud intermedia que corresponde a las mesas de Lebrija y Rionegro, que son sectores con predominio de geoformas de origen denudativo asociadas a rocas sedimentarias Triásicas a Cretácicas que han sufrido procesos de meteorización considerables. Más hacia el oeste, se presenta la zona más baja topográficamente que corresponde a la Sabana de Torres, en donde hay predominio de geoformas estructurales relacionadas con rocas sedimentarias Terciarias que fueron plegadas para formar el Sinclinal de Nuevo Mundo y unidades fluviales originadas por la acción de los cauces de los ríos Lebrija y Sogamoso, los cuales constantemente están depositando y erodando material.

Por lo anterior, la zona de estudio presenta diferentes ambientes geotectónicos y geomorfológicos en los que se evidencian diversos procesos endógenos y exógenos, lo cual hace que se despierte mayor interés por el estudio de dichas características para fines geotécnicos y de amenazas por movimientos en masa.

1.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES

De acuerdo con Etayo *et al.* (1983), el área de estudio se localiza en el Terreno Santander, en donde el sector oriental comprende parte del Macizo de Santander y el costado centro y occidental forma parte del Valle del Magdalena Medio. Por tal razón, se tienen dos dominios litológicos evidentes, al este de la Falla de Bucaramanga un complejo ígneo-metamórfico mientras al oeste de la Falla hay predominio de rocas sedimentarias que conforman la secuencia cretácica y terciaria plegada del Sinclinal de Nuevo Mundo.

En el flanco oriental de la Falla de Bucaramanga afloran bloques del Neis de Bucaramanga y esquistos de la Formación Silgará que se encuentran fuertemente diaclasados y meteorizados y que a su vez, son cortados y suprayacidos por intrusiones de magmas félsicos a intermedios, representados

por cuerpos de cuarzo monzonita biotítica con variaciones texturales y Granodiorita. En sectores aledaños al casco urbano de Matanza y sobre la vía a Charta, aparece la secuencia sedimentaria que incluye rocas triásicas de la Formación Bocas, Jurásicas de la Formación Girón y cretácicas de las formaciones Tambor, Rosablanca, Paja, Tablazo, Simití, La Luna y Umir.

El flanco oeste de la Falla de Bucaramanga, está compuesto por rocas sedimentarias que tienen edades que van desde el Triásico hasta el Cuaternario. Se destaca la secuencia terciaria con las formaciones Lisama, La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Real y Mesa, las cuales conforman el Sinclinal de Nuevo Mundo. Algunas de estas unidades han sido afectadas no solo por procesos de plegamiento sino también de fallamiento, que en este sector está representado por las fallas de Provincia y La Salina principalmente.

1.1.1 Unidades Litológicas

La estratigrafía del área de estudio comprende rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, así como depósitos recientes, cuya evolución abarca un intervalo de tiempo geológico amplio que va desde el Precámbrico hasta el Cuaternario. A continuación se presenta una breve descripción con base en uno de los trabajos más importantes de esta región, la Memoria de la Geología de los Cuadrángulos H-12 y H-13 de Ward *et al.* (1973). Así mismo se consideró la información recopilada en Léxico Estratigráfico de Colombia presentado por Julivert *et al.* (1968) (Anexo B).

1.1.1.1 Neis de Bucaramanga (Pcab)

En general, Ward *et al.* (1973) consideran que esta unidad corresponde a una secuencia estratificada de rocas metasedimentarias que han sufrido un alto grado de metamorfismo. No obstante, también presenta zonas de migmatita, donde el paraneis se mezcla con rocas graníticas y es intruido y cortado por masas de granito más jóvenes. Se presentan tres franjas donde aflora este cuerpo metamórfico, La faja de Bucaramanga, la faja central y la faja oriental, siendo ésta última la más pequeña.

El área que comprende la Plancha 109-Rionegro, corresponde a la Faja de Bucaramanga. Allí estos autores han definido que el Neis consta de meta-pelitas, semi-pelitas y meta-areniscas, mientras que el neis hornbléndico y anfibólico se presentan en menor proporción. En la zona de estudio se considera un predominio de Neises bandeados, por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina bandeada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

El Neis de Bucaramanga presenta una densidad de fracturamiento moderada a baja en las veredas La Cuchilla y Bolarquí (Bucaramanga), Lavadores (Charta),

mientras que un cuerpo aflorante del Neis en la vereda Matajira, presenta una densidad de fracturamiento alta por encontrarse asociado al trazo principal de la Falla Suratá y sus lineamientos asociados. Debido a los procesos de meteorización acentuados que presenta el macizo rocoso, en algunos sectores como la vereda La Corcova, se desarrollan suelos residuales que pueden superar 1 metro de profundidad, mientras que en las demás zonas no se llega a superar dicho espesor.

En las veredas que se encuentran al oriente de Rionegro, el Neis de Bucaramanga presenta una densidad de fracturamiento moderada a baja, sin embargo, allí se presenta como un macizo rocosos bastante meteorizado y en algunos sectores desarrolla suelos residuales de espesor moderado que no superan 1 metro de espesor.

De acuerdo con estudios y dataciones y análisis estratigráficos, la edad del Neis de Bucaramanga encaja dentro del intervalo 940-945 m.a, por lo cual puede reflejar un ciclo de la orogenia Pre-cámbrica.

1.1.1.2 Formación Silgará (Pds)

Según estudios de Ward *et al.* (1973) esta unidad está compuesta por rocas clásticas metamorfoseadas, estratificadas, como pizarras, filitas, meta-limolitas, meta-arenisca impura, meta-waca y meta-waca guijarrosa. En el sector de la quebrada Silgará que forma parte del área de estudio, las rocas predominantes son pizarras, filitas, meta-limolitas, cuarcitas de grano fino de color verde oscuro, gris verdoso. En la zona de estudio se considera un predominio de esquistos por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina foliada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura.

Los esquistos y filitas de la Formación Silgará, se caracterizan por presentar una densidad de fracturamiento relativamente baja a moderada, debido a que los cuerpos de roca son afectados por esporádicos lineamientos con orientación NNE asociados al sistema de Fallas de Bucaramanga, los cuales cortan la tendencia regional del buzamiento que propio de estas rocas. No obstante, los procesos de meteorización acentuados han dado lugar al desarrollo de suelos residuales de espesores superiores a 1 metro, lo cual da un indicio de lo propensa que puede resultar esta unidad litológica a experimentar movimientos en masa.

1.1.1.3 Ortoneis (PDo)

De acuerdo a los análisis realizados por Ward *et al.* (1973), esta unidad presenta una composición cuarzo-feldespática con texturas en las que predominan la foliación y en algunos casos la lineación. Las composiciones de

estas rocas van desde granito a tonalita y diorita. La edad de esta unidad se ha determinado Pre-devónica. En la zona de estudio se considera un predominio de Neis por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina bandeada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría extremadamente dura.

Esta unidad presenta afloramientos esporádicos en las veredas Quemado y Golondrinas del Municipio de Tona. Allí la densidad de fracturamiento que presentan las rocas es baja pues a pesar de que se encuentra en una zona de influencia de la Falla de Tona, no hay presencia de lineamientos importantes en esta zona. Los suelos residuales que desarrolla el Ortoneis pueden superar 1 metro de espesor, sin embargo, la mayoría no alcanza esta profundidad.

1.1.1.4 Formación Floresta (Df)

De acuerdo con Ward *et al.* (1973) al norte de Bucaramanga, se observa un contraste en el contacto de las formaciones Floresta y Diamante, pues las capas de Floresta son argilíticas, pizarrosas o filíticas, mientras que Diamante presenta limolitas y arcillolitas. Al este de la Falla de Bucaramanga, las rocas de grano fino de Floresta tienden a mostrar texturas superficiales filíticas. En la zona de estudio se considera un predominio de lodolitas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura.

Esta unidad aflora únicamente en la vereda La Sabana y El Pablón, sector Los Colorados (Bucaramanga). Allí, estas rocas presentan un alto grado de fracturamiento que se debe a que dichos cuerpos rocosos se localizan en la zona de confluencia de la Falla del Suárez y la Falla de Bucaramanga, lo cual convierte a esta zona en un foco de inestabilidad por su actividad tectónica. Los suelos residuales derivados de estos cuerpos rocosos, pueden superar 1 metro de profundidad en algunos sectores, pero suelen tener 50 cm de espesor en promedio.

1.1.1.5 Formación Diamante (PCd)

Esta unidad está compuesta en su parte inferior por areniscas de grano fino a medio de color púrpura oscuro a gris púrpura oscuro, con intercalaciones de arcillolita de color similar. Algunas areniscas son feldespáticas y micáceas, las de la parte media son de grano grueso a conglomeráticas con guijos de cuarzo.

En la parte media de esta unidad, se tienen shales grises con intercalaciones de calizas y arcillolita limosa gris verdosa en la parte superior. (Ward, *et al.*, 1977)

Esta unidad aflora al norte del casco urbano de Bucaramanga en los límites con el Municipio de Rionegro y se presenta como franjas alargadas irregulares en

contacto fallado con rocas ígneas cuarzomonzoníticas y rocas metamórficas de Silgará y Floresta. En estos sectores, la densidad de fracturamiento es alta a moderada, pues corresponde al trazo principal de la Falla de Bucaramanga y su zona de convergencia con la Falla del Suárez. Los suelos residuales derivados de las rocas de la Formación Diamante, pueden alcanzar 1,5 metros de espesor en el sector del Pablón (Bucaramanga), mientras que en las veredas La Sabana y San Ignacio (Bucaramanga) no alcanzan dicha profundidad. En toda la zona de estudio se considera un predominio de calizas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina masiva y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría extremadamente dura.

No obstante, esta unidad litológica se encuentra en una zona de gran actividad tectónica, lo que supone un área propensa a presentar movimientos en masa.

1.1.1.6 Formación Tiburón (TRpt)

La Formación Tiburón descrita por Ward *et al*, (1977) consta de capas masivas de conglomerados con guijos de caliza de la Formación Diamante, embebidos en una matriz calcárea, gris de grano fino. Predominan los guijos de caliza de color gris oscuro a claro y raramente rosado. También se presentan en menor proporción guijos de arenisca y chert. Esta unidad aparece en el norte de Bucaramanga, en cercanías al casco urbano, en donde forma una pequeña franja alargada en contacto fallado con rocas de la Formación Silgará.

La Formación Tiburón presenta afloramientos al norte del casco urbano de Bucaramanga, en la vereda Angelinos y Los Santos. Allí los datos de densidad de fracturamiento muestran una zona de mediana densidad, lo que es una evidencia de la cercanía de estos cuerpos de roca a la zona de confluencia de la Falla de Bucaramanga con la Falla de Suratá. La mayoría de suelos residuales derivados de esta unidad, pueden alcanzar 1,5 metros de profundidad. Esta zona también representa una zona de inestabilidad lo que se refleja en algunos movimientos en masa observados en esta zona, pero que no pudieron ser catalogados debido a problemas de seguridad en el Barrio El Pablón.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de conglomerados por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.7 Formación Bocas (Trb)

En una sección levantada por Ward *et al* (1973), se encontró que la Formación Bocas está constituida por intercalación de areniscas gris verdosas a oscuras con limolitas gris verdosas en la base, en la parte media shales gris oscuros con

limolitas gris verdosas y en la parte superior arcillolitas gris verdosas con limolitas y esporádicos niveles de areniscas conglomeráticas y conglomerados gris verdosos. Esta unidad se distribuye en varios sectores de la Plancha 109-Rionegro. Al norte de Bucaramanga, aparece como una franja delgada, elongada, paralela a la Falla de Bucaramanga, mientras que más hacia el norte en las veredas Salteras y San Pedro de El Playón y las veredas Calichana, La Ceiba y Unión de Galápagos de Rionegro, se presenta como una masa irregular de diámetro considerable que es cortada por la falla del río Cáchira. En toda la zona de estudio se considera un predominio de lodolitas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura.

La principal exposición de esta unidad se presenta en el sector Centro-norte de la plancha, específicamente en las veredas Salteras, Huchaderos y San Pedro (El Playón) y Calichana, La Ceiba, La Virginia, Unión de Galápagos (Rionegro). En estos sectores, la densidad de fracturamiento que afecta a estas rocas, aumenta desde nula hasta muy alta, a medida que las rocas se encuentran más cerca al trazo principal de la Falla de Bucaramanga. Los suelos residuales que presenta la Formación Bocas no superan los 100 cm de profundidad. Esto deja ver, que esta unidad litológica presenta zonas donde puede ser más propensa a moverse y otras en las que no lo es.

En la vereda Piritá (Charta), esta unidad litológica también tiene una aparición importante, allí la densidad de fracturamiento es relativamente baja, sin embargo, los procesos avanzados de meteorización han dado lugar a suelos residuales de espesores mayores a 1 metro, dando así un elemento que favorece la ocurrencia de movimientos en masa en temporadas invernales.

1.1.1.8 Cuarzomonzonita de La Corcova (JTRcl- JTRclp-JTRcg)

Según observaciones de Ward *et al.* (1973) esta unidad está representada por una cuarzomonzonita gris de grano fino a medio, equigranular de textura sacaroide, con biotita uniformemente diseminada. Cuando se meteoriza adquiere un color gris claro a gris amarillento. En algunos sitios muestra una estructura fluidal. Cuando de masiva tiende a meteorizar esferoidalmente, formando cantos con núcleo rocoso.

En cercanías a Tona, se presenta una fase porfirítica que contiene fenocristales de feldespato potásico rosado en una matriz de grano fino a medio.

La unidad JTRcg, corresponde a pequeñas intrusiones de granito, pórfido cuarzoso y escasas trazas de granodiorita, de colores gris rosado a gris claro. Estos pequeños cueros intrusivos están distribuidos sobre las formaciones Neis de Bucaramanga y Silgará. En toda la zona de estudio se considera un predominio de cuarzomonzonita por lo cual esta Formación se ha calificado en

cuanto a textura como cristalina masiva y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría extremadamente dura.

Esta unidad tiene buena distribución y proporción en el flanco este de la Falla de Bucaramanga, en los municipios de Matanza, Tona, Rionegro y El Playón.

Esta unidad litológica presenta una distribución heterogénea al este de la Falla de Bucaramanga, y como ya se mencionó se encuentra a manera de pequeñas intrusiones diseminadas. Quizás la concentración más importante de estos cuerpos plutónicos tiene lugar en la esquina sureste de la plancha jurisdicción del Municipio de Tona, específicamente en las veredas Arnania, Babilonia, Caragua, Guarumales, en donde se caracteriza porque la densidad de fracturamiento es nula a baja debido a que en estos sectores no hay influencia directa de la Falla de Tona. No obstante, en los sectores de Golondrinas y La Corcova, este cuerpo intrusivo es cortado por la Falla y allí la densidad de fracturamiento es moderada a Alta. Los suelos residuales de esta unidad, suelen tener espesores entre 1 m – 1,5 m, presentándose los perfiles de suelo más gruesos en las veredas Babilonia, Arnania y gran parte de La Corcova (Tona).

1.1.1.9 Cuarzomonzonita Biotítica (Jc)

Se trata de un cuerpo de cuarzomonzonita biotítica, de grano medio, equigranular a subporfirítica, rosada a gris claro. Las fases porfiríticas presentan fenocristales de feldespato potásico rosado y localmente plagioclasa. Esta roca se encuentra generalmente muy meteorizada y los afloramientos frescos no son de fácil acceso. El suelo que desarrolla esta cuarzomonzonita es de color amarillento y localmente naranja donde la roca es más máfica (Ward *et al.*, 1973). En toda la zona de estudio se considera un predominio de cuarzomonzonita por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina masiva y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

La mayor distribución de esta unidad se presenta sobre el flanco este de la Falla de Bucaramanga, en límites entre los municipios de El Playón y Rionegro. Allí, se presenta una gran masa de Cuarzomonzonita biotítica, la cual es cortada por una serie de fallas y lineamientos y se encuentra en contacto con la Granodiorita y la Formación Silgará. A pesar de que la densidad de fracturamiento es nula a baja en este sector, pues los lineamientos que tienen lugar en dicha zona no son tan importantes, este cuerpo ígneo masivo granular se caracteriza por encontrarse con un grado de meteorización muy alta, desarrollando suelos residuales areno-arcillosos que en las veredas Misijuay, Espuma Alta y Espuma Baja (Rionegro) y las veredas La Ceiba, Silgará y Las Cruces (El Playón), presentan espesores superiores a 1 metro que pueden alcanzar 1,5 metros.

1.1.1.10 Granodiorita (Jgd)

Ward *et al.* (1973) describen esta unidad como una granodiorita gris, de grano medio a grueso, sub-porfirítica, con fenocristales grandes de feldespato potásico de color rosado naranja y plagioclasa blanca ligeramente más pequeños, embebidos en una matriz de cuarzo gris, biotita y cristales más pequeños de feldespato.

En el sector aledaño a Santa Cruz, se presenta una granodiorita gris, generalmente porfirítica junto a masas subordinadas de tonalita equigranular. La granodiorita de este sector presenta muchas inclusiones y tabiques del Neis de Bucaramanga.

Esta unidad se presenta como un cuerpo alargado, fallado, que se encuentra en contacto con la Cuarzomonzonita biotítica, Neis de Bucaramanga y con la Formación Silgará, en la franja Centro-Oriente de la plancha, con algunos pequeños cuerpos intrusivos más hacia el este. Como es de esperarse, las porciones del Plutón que se encuentran más cercanas y contiguas al trazo de la Falla de Bucaramanga, presentan densidades de fracturamiento moderadas a altas, siendo las veredas Samán, Churricas parte Baja y Bremen, las que presentan el mayor problema de elevado fracturamiento del material. En la zona de Santa Cruz de La Colina y las veredas Cabrera y Sucre (Matanza) las densidades de fracturamiento son bajas, lo que evidencia un menor control estructural en este sector. Sin embargo, gran parte de este intrusivo también ha sufrido intensos procesos de meteorización que han dado lugar a suelos residuales que presentan espesores importantes en algunos sectores como la vereda Bremen, Valparaíso (Rionegro) y Sucre (Matanza), en donde pueden superar 1 metro de profundidad.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de granodiorita por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina masiva y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría extremadamente dura.

1.1.1.11 Formación Jordán (Jj)

De acuerdo con Ward *et al.* (1973), esta unidad incluye dos facies:

La facies superior, con un espesor aproximado de 200 m que está compuesta por limolita de color marrón rojizo uniforme y arenisca de grano muy fino, estratificada en capas de 30 – 80 cm de espesor.

La facies inferior con un espesor aproximado de 100 m está conformada por arenisca gris de grano grueso, en capas de hasta 1m de espesor. También se

presentan esporádicos niveles de shale gris verdoso de hasta 2 m de espesor. (Ward *et al.*, 1973).

Aunque esta Formación no presenta grandes afloramientos en la plancha, pues sólo se extienden dos franjas una hacia el Centro-sur y la otra hacia el sureste, es afectada por Fallas importantes como la de Suratá y algunos trazos asociados a la Falla de Bucaramanga como lo son la Falla de La Plata, Falla Espino y la Falla de Rionegro. Lo sectores en donde se presenta esta influencia tectónica, son las veredas Sabana (Bucaramanga), Vega Carreño, San Pablo (Rionegro) y en la vereda La Playa (Charta), en dichas zonas, se encuentran densidades de fracturamiento moderadas a altas, elevando la susceptibilidad de dicho cuerpo rocoso a experimentar movimientos en masa. Los suelos residuales pueden superar los 50cm pero no alcanzan 1 metro de espesor.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de areniscas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.12 Formación Girón (Jg)

De acuerdo con el estudio más reciente de la Formación Girón citado en Ward *et al.* (1973), esta unidad tiene un espesor total de 4650 m dividió en siete facies, que de tope a base son:

G: Arenisca de grano grueso, con capas conglomeráticas. El tamaño de grano disminuye hacia el tope. Los colores también varían hacia arriba, desde gris verdoso hasta gris amarillento y amarillento grisáceo.

F: Areniscas gris verdosas conglomeráticas con guijos de cuarzo y capas de limolita rojiza y arcillolita interestratificadas.

E: Capas de arenisca de grano medio que gradan lateralmente y verticalmente a shale y en algunos sectores a arcillolita. Hay desarrollo de estratificación cruzada localmente.

D: Capas rojas de limolita y arenisca gris verdosa interestratificada. En la base lentes pequeños de material carbonáceo con restos vegetales.

C: Arenisca de grano medio a grueso en capas con estratificación cruzada. También capas conglomeráticas con guijos de cuarzo.

B: Arenisca gris azulosa clara de hasta 1 m de grueso, de grano medio a grueso y capas rojas interestratificadas de limolita y arcillolita.

A: Arenisca de grano grueso, conglomerática, gris clara en capas gruesas con estratificación cruzada. Capas delgadas de conglomerados con guijos de cuarzo y esporádicos de caliza. (Ward *et al.*, 1973)

En la zona de estudio se considera un predominio de conglomerados por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

La Formación Girón se extiende como una de las unidades sedimentarias con mayor afloramiento en esta plancha. Las sedimentitas de esta unidad aparecen formando una franja amplia ligeramente alargada que ocupa la zona Centro sur, abarcando diferentes veredas de los municipios de Lebrija y Rionegro. Esta unidad se caracteriza porque predominan los procesos de meteorización más que la actividad tectónica, lo que se refleja en nulos a bajos índices de densidad de fracturamiento y suelos residuales de espesores altos a muy altos, en donde las veredas Llano de Palmas, San Jorge y San Juan (Rionegro) presentan los mayores espesores de suelos que pueden llegar a superar 1,5 metros, mientras que en las veredas Aguirre, El Progreso, El Santero, Llanadas (Lebrija) los espesores no superan 1,5 metros.

1.1.1.13 Formación Tambor (Kita)

Ward *et al.* (1973) describen esta unidad como una secuencia conformada por arenisca amarilla rojiza de grano fino micácea intercalada con niveles delgados de shale gris azulado y amarillo rojizo. También capas de arenisca marrón rojiza con niveles de shale marrón rojizo y hacia la parte superior arenisca gris amarillenta pálida de grano fino con intercalaciones de arcilla arenosa gris verdosa.

Esta Formación aparece como franjas alargadas irregulares formando parte del flanco de algunos plegamientos como el Anticlinal de Los Cobardes. Se encuentran dos zonas con afloramientos en la plancha, una de ellas en la franja Central y la otra en la esquina Centro oriental, en límites con la plancha 110.

En la zona limítrofe con la plancha 110, esta formación no es afectada directamente por lineamientos ni fallas, lo que se traduce en su nulo a bajo grado de densidad de fracturamiento. En esta zona de las veredas Las Abejas y Ovejeras (Matanza), los suelos residuales derivados de esta unidad no alcanzan a superar 1 metro de espesor en promedio.

Mientras tanto, en la zona central de la plancha, en las veredas El Pórtico, Filo de Cruces y El Conchal (Lebrija), así como Galápagos (Rionegro) y Cuesta Rica (El Playón) los suelos residuales suelen superar 1 metro de espesor, con densidades de fracturamiento que alcanzan a ser moderadas pero que suelen ser nulas a bajas, debido a que las estructuras que se presentan en los

afloramientos de esta unidad son flancos de plegamientos y no se asocian a fallas ni lineamientos importantes.

En términos generales la zona estudiada presenta un predominio de areniscas por lo cual esta formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.14 Formación Rosa Blanca (Kir)

Una sección que tipifica claramente el predominio de esta unidad en la zona de estudio es la secuencia expuesta en la carretera al noreste de Cuesta Rica, Municipio de Rionegro (Santander). Allí, la unidad está compuesta de base a tope por shale gris amarillento arenoso, ligeramente fisil, con caliza gris clara, dura, fosilífera, con niveles esporádicos de arenisca gris amarillenta, dura. El predominio de esta unidad son las calizas grises fosilíferas. (Ward *et al.*, 1973).

Esta unidad litológica forma parte de una secuencia cretácica plegada y tectonizada que da lugar a un sistema de bloques fallados que han sido desplazados y rotados por fallas como Lebrija, Cuesta Rica y Cachirí. Sobre la vía que comunica a la cabecera municipal de Rionegro con Cuesta Rica, se puede apreciar que esta Formación se encuentra con media a alta densidad de fracturamiento, pues se encuentra en la zona de influencia directa de algunas de las fallas mencionadas. En este sector, el predominio de un clima cálido-húmedo da lugar al desarrollo de suelos residuales con espesores que pueden superar los 100 cm.

En el sector de la Quebrada Seca y quebrada Las Abejas en las veredas El Salado y Ovejeras del Suroeste de Charta, aflora una faja de la Formación Rosablanca con tendencia NE, la cual forma parte de un plegamiento local fallado que da lugar a altas densidades de fracturamiento en esta unidad litológica. Cabe anotar que la estructura regional que ha fracturado el material de esta zona, es la Falla de Suratá. Los suelos residuales que se presentan en este sector, alcanzan profundidades de 1 m y se desarrollan en un clima templado a frío húmedo.

En las veredas Filo de Cruces, Angelinos y San Joaquín hasta el sector de Portugal en el Municipio de Lebrija, se extiende una faja de la Formación Rosablanca con dirección NNE que forma parte del flanco Oriente del Sinclinal de Nuevo Mundo. Allí, el clima templado húmedo en el cual afloran dichas rocas ha dado lugar a que éstas desarrollen suelos residuales cuyos espesores pueden superar en algunos casos los 100 cm. Aunque en este sector no existe control de estructuras regionales, la presencia de algunos lineamientos locales hace que la densidad de fracturamiento de los materiales de esta zona sea moderada.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de calizas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina masiva y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.15 Formación Paja (Kip)

Esta unidad fue designada y descrita por O.C. Wheeler, (1929) – Inédito en Ward *et al.* (1973). Esta unidad alcanza un espesor máximo de 625 m y se compone de shales negros, micáceos, limosos, ligeramente calcáreos y laminados finamente. En la parte inferior son frecuentes las concreciones de caliza, nódulos septáreos y venas de calcita recristalizada (Ward *et al.*, 1973).

En la carretera a Cuesta Rica, la Formación Paja presenta una sección bien expuesta, con predominio de lutita negra, blanda, en capas delgadas (Ward *et al.*, 1973).

La Formación Paja se presenta como franjas delgadas que conforman flancos fallados de pliegues locales y regionales como el Sinclinal de Nuevo Mundo. Esta unidad aflora en veredas del Municipio de Rionegro sobre la Vía a Cuesta Rica, en donde el clima templado a cálido húmedo sumado al control ejercido por lineamientos locales como la Falla Cuesta Rica ha dado lugar a un moderado a alto grado de fracturamiento, desarrollando suelos residuales de espesores que alcanzan los 100 cm.

Así mismo en algunas veredas de Lebrija y Charta, en donde se encuentra en contacto con la Formación Rosablanca y presenta condiciones de fracturamiento similares a ésta última, con desarrollo de suelos residuales medianamente profundos no superiores a 1 m de espesor.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de shales por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.16 Formación Tablazo (Kit)

De acuerdo a las observaciones hechas por Ward *et al.* (1973), esta Formación se compone de una intercalación entre areniscas gris oscuras de grano medio con calizas gris oscuras a negras, duras, en la parte inferior. En la parte superior, calizas gris claras, duras, glauconíticas a veces piríticas, de textura media intercaladas con areniscas marrón amarillentas de dureza media, de grano fino a muy fino.

Esta unidad aparece intercalada con otras formaciones Cretácicas, conformando flancos de algunos pliegues que han sido fallados dando lugar a densidades de fracturamiento moderadas, que en algunas veredas de Rionegro y veredas limítrofes de Charta y Matanza, donde hay fuerte control estructural,

se presentan altas densidades de fracturamiento. Sin embargo, los climas Cálido y Frío Húmedo permiten que esta Formación desarrolle suelos residuales con espesores que pueden estar entre los 50 cm a 100 cm.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de calizas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina masiva y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.17 Formación Simití (Kis)

Según Ward *et al.*, (1973) esta unidad fue designada por geólogos de la International Petroleum Company en 1953, porque presentaba muy buenos afloramientos en el sector de la Ciénaga de Simití al sur del Departamento de Bolívar. En esta zona, la Formación Simití tiene un espesor de 410 m, consiste de shale blando, laminado, carbonáceo, gris a negro, localmente calcáreo y concrecional. Cerca del tope de esta unidad también se presentan delgados niveles conglomeráticos con guijos pequeños, nódulos fosfáticos, dientes de peces y arena.

Los suelos residuales que se derivan del macizo rocoso de esta Formación, pueden alcanzar espesores superiores a 1 m con densidades de fracturamiento altas debido a su asociación directa con fallas y lineamientos locales, tanto en veredas de Rionegro como Charta y Lebrija.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de shales por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clásica consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.18 Formación La Luna (Ksl)

Considerando el trabajo de Ward *et al.*, (1973), esta Formación fue definida en Venezuela por Sutton (1946). En la literatura se ha dividido esta unidad en tres miembros: Salada, Pujama y Galembó.

El miembro Salada, compuesto por shales calcáreos negros y unas capas delgadas de caliza negra, con concreciones de caliza de sección transversal elíptica; el miembro Pujama que contiene shale calcáreo y el miembro Galembó que está compuesto por shale gris, con intercalaciones de chert negro y caliza gris, también se encuentran concreciones de caliza discoidal. Temporalmente esta unidad se ubica en el Turoniano temprano al Coniaciano tardío (Ward *et al.*, 1973).

En la zona de estudio, la Formación La Luna tiene franjas aflorantes en algunas veredas de la vía a Cuesta Rica (Rionegro) y en el sector de Vanegas (Lebrija), donde se asocia al Sinclinal que lleva este mismo nombre. Aunque no está en zona de influencia directa de fallas regionales, sino que se asocia a ejes de

pliegues, la densidad de fracturamiento que muestra esta unidad litológica es baja a moderada. No obstante, en sectores aledaños a Matanza y el sector La Playa (Charta) la influencia de la Falla de Suratá, puede generar un alto grado de fracturamiento. Los suelos residuales que presenta por lo general son moderadamente profundos con espesores entre los 50 a 100 cm.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de calizas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina masiva y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.19 Formación Umir (Ksu)

En la parte inferior presenta shales gris azulosos a negros, con laminaciones carbonáceas y micáceas. La parte superior está conformada por shale blanco, gris oscuro a gris verdoso, con capas de arenisca dura de grano fino y delgados mantos de carbón. Esta Formación también se caracteriza porque presenta capas delgadas, pequeños lentes y concreciones de arcilla marrón, con ironstones.

En el valle del Magdalena se han encontrado shales carbonáceos de color gris, blandos, con laminación delgada. Son comunes los mantos de carbón que alcanzan los 3 m de espesor, así como bandas y nódulos de siderita (Ward *et al.*, 1973).

La Formación Umir también suele aparecer intercalada con otras unidades cretácicas formando flancos de pliegues afectados por fallamiento. Aunque esta unidad aflora en climas cálidos y fríos húmedos, el carácter lodoso-arcilloso de su litología, da lugar a la Formación de suelos residuales arcillo-limosos de espesor moderado (50-100 cm). En cercanías a la Falla de Suratá, el macizo rocoso de esta Formación, presenta un alto grado de fracturamiento y por tratarse de arcillolitas físciles, se presentan movimientos en masa tanto de suelo (reptación) como del macizo rocoso (caídos).

En los sectores de Cerro de La Aurora, El Líbano, El Centenario y Chingua, los suelos residuales que desarrolla esta unidad, pueden superar los 150 cm de espesor. Sin embargo, en estos sectores la ausencia de control estructural por fallas hace que el material que allí aflora, presente densidades de fracturamiento bajas.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de shales por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.20 Formación Lisama (Tpl)

Se compone de shales moteados de color marrón y gris, con intercalaciones de areniscas de grano medio a fino, de color gris, gris verdoso y marrón. Hacia la parte superior de la Formación, las areniscas son de grano más grueso. Se pueden encontrar mantos de carbón que son más delgados que los de la Formación Umir.

Las capas de Lisama son de ambiente transicional y son posteriores al final de la depositación marina y cretácica de la Formación Umir (Ward *et al.*, 1973).

Los estratos de la Formación Lisama, se presentan como una franja de gran extensión con dirección casi N-S, en el flanco oriental de la Cuchilla Angosturas, desde el norte en las veredas Montevideo, La Estrella, El Tesoro, Canoas, El Cristal y río Sucio del Municipio de Lebrija. Allí, los suelos residuales que se derivan de esta unidad presentan espesores entre los 25 a los 80 cm. La densidad de fracturamiento del material que aflora en estos sectores es muy baja, pues no existe un control tectónico-estructural que predomine en esta zona.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de shales por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura.

1.1.1.21 Formación La Paz (Tel)

El nombre fue acuñado por el Filo La Paz ubicado en la parte occidental del Cuadrángulo H-12, entre los ríos Lebrija y Sogamoso. En este sector dicha unidad consiste de areniscas conglomeráticas gris claras, masivas con estratificación cruzada. En la parte inferior y cerca del tope, hay intercalaciones de arcillolita gris, blanda. En la base de la Paz, en algunos sectores, se presenta un shale rosado grisáceo a crema, duro, denso, de unos 30 m de grueso, el cual constituye el Miembro Toro (Ward *et al.*, 1973).

La Formación La Paz, se encuentra sobre la vertiente Occidental de la Cuchilla Angosturas, en donde se ubican las veredas limítrofes entre Lebrija y Sabana de Torres. En esta zona, el macizo rocoso se encuentra altamente meteorizado por la acción de agentes externos propios de un clima cálido húmedo. A pesar de lo anterior, los suelos residuales que se derivan de esta unidad, no superan los 80 cm de espesor. El macizo rocoso propio de esta Formación, presenta muy baja densidad de fracturamiento, lo que evidencia la ausencia de un control tectónico-estructural que afecte esta zona.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de areniscas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clásica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.22 Formación Esmeraldas (Tee)

De acuerdo con Ward *et al.* (1977), esta Formación consiste de arenisca de grano fino, gris clara a gris verdosa, de estratificación fina a laminada y limolita, con intercalaciones de shales gris oscuro, localmente moteado de marrón, rojo y púrpura. En esta unidad se encuentran mantos de lignito.

Una sección levantada a lo largo del costado sur del río Lebrija, permitió encontrar intercalaciones de arenisca marrón amarillenta a gris amarillenta de grano fino a medio, micácea, con esporádicos niveles de arcillolita gris blanda, surcos (Ward *et al.*, 1973).

Esta unidad litoestratigráfica se extiende de sur a norte por toda la plancha, desde inmediaciones de las veredas San Silvestre, La Girona en cercanías a las quebradas La Peligrosa, La Arenosa y La Canaima, incluyendo sectores de la Uribe Uribe, Palenqueros y Montevideo de Lebrija, hasta el extremo norte de la plancha en Tambo Quemado y Catatumbo del Municipio de Rionegro. Allí se dispone en estratos inclinados abruptamente con buzamiento al oeste, conformando el flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo. En los sectores más hacia el sur, el espesor de los suelos residuales derivados de esta unidad pueden alcanzar y en algunos casos superar los 150 cm, mientras que en los sectores del norte los espesores de suelo no superan los 100 cm. En cuanto a la densidad de fracturamiento de estos materiales, se puede decir que es muy baja debido a la ausencia de fallas y lineamientos que afecten el Sinclinal en esta zona. El clima predominante en los sectores mencionados, es el clima Cálido húmedo.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de areniscas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clásica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.23 Formación Mugrosa (Tomi - Toms)

La parte inferior está compuesta por arenisca de grano fino a medio y a veces de grano grueso y guijarroso, gris a verde grisáceo, con intercalaciones de shale gris y azul. La parte media presenta shales manchados, azul opaco y marrón, masivos, con pocas intercalaciones delgadas de arenisca de grano fino a grueso, con intercalaciones menores de shale verde y manchado (Ward *et al.*, 1973).

Los dos miembros de esta unidad, forman franjas que se extienden de sur a norte, siendo el miembro superior el que sufre un acuñamiento hacia el norte. Los suelos residuales que se derivan de esta unidad no alcanzan los 100 cm y se desarrollan en climas netamente cálidos húmedos. La densidad de fracturamiento de estos materiales sigue siendo muy baja debido a la escasa influencia tectónica del área.

El miembro inferior Tomi, presenta predominio de areniscas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

El miembro superior Toms, presenta predominio de arcillolitas por lo cual esta Formación se ha calificado en cuanto a textura como clástica consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

1.1.1.24 Formación Colorado (Toc)

Esta unidad está compuesta por shales gris claro manchados de púrpura y rojo, compactos masivos, con intercalaciones de arenisca de grano fino a grueso, blanca y marrón amarillenta con estratificación cruzada.

Una sección levantada y medida por A. Castro tiene 1379 m de espesor y está compuesta por conglomerados gruesos con abundantes guijos y cantos redondeados de arenisca y caliza y unos pocos de cuarzo, chert y rocas ígneas y metamórficas en una matriz de grano grueso, arenosa y calcárea (Ward *et al.*, 1973).

La faja que forma esta unidad litológica se extiende desde inmediaciones de la vereda Caño Frías en la Loma Filo Santa Helena y la vereda Santa Helena, involucrando el corregimiento de Chupas del Municipio de Lebrija y abarcando diferentes veredas y localidades del norte de Rionegro en límites con Sabana de Torres. Los materiales que conforman esta Formación se caracterizan por presentar muy bajas densidades de fracturamiento y desarrollo de suelos residuales que no superan los 50 cm bajo las condiciones de un clima Cálido húmedo.

Esta Formación presenta predominio de areniscas por lo cual se ha calificado en cuanto a textura como clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.25 Formación Real (Tmrs-Tmrm-Tmri)

Se conoce como grupo Real y ha sido dividido en tres unidades: Inferior, Media y Superior.

La parte Media presenta una alternancia de arenisca gris clara, de grano grueso a muy grueso, arcillosa y friable con conglomerado blanco amarillento y gris claro débilmente consolidado con guijos de arenisca y cuarzo.

La parte Inferior consta de arenisca gris amarillenta de grano grueso a muy grueso, friable, feldespática, conglomerática intercalada con conglomerado grueso, gris amarillento, friable, con guijos de arenisca y rocas ígneas y metamórficas (Ward *et al.*, 1973).

Aunque gran parte de las rocas sedimentarias que conforman esta unidad se extienden desde las veredas La Martha y río Sucio, Caño Edén, Bellavista, Caño Bombales y las vereda Miraflores y Doradas hasta llegar a los depósitos de aluvión del río Lebrija hacia el norte. Cabe anotar que en estos sectores la predominancia de climas cálidos húmedos, da lugar a suelos residuales poco a moderadamente espesos que alcanzan 70 cm de profundidad. La ausencia de procesos de fallamiento hace que la densidad de fracturamiento en esta zona sea muy baja a nula. Sin embargo, en los sectores más occidentales de la plancha en la vereda Aguas Claras y Cristales y en el Corregimiento de Payoa, los ejes del sinclinal de Nuevo Mundo y el anticlinal de las Monas que se encuentran afectados por la Falla de Provincia, generan densidades de fracturamiento moderadas a altas.

En general esta unidad presenta predominio de areniscas por lo cual se ha calificado en cuanto a textura como clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.26 Formación Mesa (Tmi-Qms)

Para Ward *et al.* (1973) esta Formación está compuesta por areniscas bien estratificadas y tobas andesíticas que contienen capas de arenisca de grano grueso, aglomerados, arcilla, limo, conglomerados y piroclastos. En los piroclastos hay fragmentos de andesita, dacita, piedra pómez, ceniza, cuarzo y láminas de filita. La parte superior presenta gravas, cantos, arenisca e intercalaciones de limos.

En general esta unidad presenta predominio de areniscas por lo cual se ha calificado en cuanto a textura como clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

1.1.1.27 Aluvión (Qal)

Esta unidad corresponde a los depósitos recientes que son producto de la acumulación de sedimentos por acción de una corriente de agua. Se caracterizan porque presentan material particulado heterométrico sub-

redondeado a redondeado debido al transporte, embebido en matriz generalmente arenosa a areno-arcillosa (Ward *et al.*, 1973).

En la zona de estudio, las áreas de mayor extensión que presentan depósitos de este tipo, son las zonas aledañas al cauce de los ríos Lebrija, río de Oro, Sogamoso y en menor medida los ríos Suratá, Charta y Tona.

En términos de calificación de susceptibilidad de los depósitos aluviales, se consideran aquellas zonas con depósitos de cauce y llanuras (planicies de inundación) con la más baja categoría. Mientras tanto, aquellas zonas donde aparecen depósitos de conos de deyección y abanicos antiguos se consideran con la máxima categoría, debido a que representan una amenaza potencial, en el caso de que pueda reactivarse el movimiento de este tipo depósitos.

1.1.1.28 Coluvión (Qd)

De acuerdo con Ward *et al.* (1973) estos depósitos corresponden a áreas con depósitos relativamente espesos producto de antiguos deslizamientos, talud, corrientes de lodo y de otros sistemas coluviales. Suelen presentarse este tipo de depósitos en aquellas zonas con pendientes fuertes, particularmente donde rocas más resistentes descansan sobre rocas menos resistentes. La edad de estos depósitos gravitacionales probablemente va del Pleistoceno al Holoceno.

En la zona de estudio, presentan distribuciones heterogéneas, sin embargo, estos depósitos pueden aparecer asociados a zonas de falla como resultado de exhumación y posterior erosión y colapso de antiguos bloques de roca. Debido a que se consideran como suelos de origen coluvial que pueden reactivarse dando lugar a nuevos movimientos en masa, por su alto índice de inestabilidad se califican en la categoría de máxima susceptibilidad de suelos a movimientos en masa.

1.1.2 Geología Estructural

El contexto tectónico de Colombia se encuentra representado por la confluencia de tres placas: Nazca, Caribe y Suramérica, por lo que se considera un territorio que evidencia complejos procesos dinámicos que involucran plegamiento y fallamiento.

La zona de estudio se localiza en un sector importante desde el punto de vista estructural, pues presenta dos zonas importantes limitadas por la Falla de Bucaramanga, que es la principal estructura en esta zona. Al este de la falla, se encuentra el Macizo de Santander, un bloque montañoso de basamento ígneo-metamórfico que es cortado por una serie de lineamientos y fallas, entre las que se destaca la Falla de Surata por su buena expresión geomorfológica, la cual ha levantado bloques de cuerpos metamórficos antiguos sobre rocas

sedimentarias más jóvenes, evidenciando el predominio de procesos de deformación frágil. Hacia el oeste de la falla de Bucaramanga, se aprecia una zona que es controlada por una estructura sinclinal conocida con el nombre de Sinclinal de Nuevo Mundo, el cual presenta algunos pliegues menores asociados, que son el resultado de procesos de deformación dúctil. Este pliegue se caracteriza por presentar flancos amplios, fallados, en donde el flanco oriental corresponde a una zona de altitud intermedia con rocas sedimentarias que van desde el Triásico al Cretácico, mientras que el núcleo está conformado por una secuencia Terciaria. Las principales fallas que afectan al Sinclinal de Nuevo Mundo, son la Falla de Provincia, Falla de Vanegas y Falla de La Salina.

A continuación se presenta una breve descripción de las principales estructuras que conforman el área de la Plancha 109-Rionegro, con base en el trabajo de Ward *et al.* (1973).

1.1.1.1 Falla de Bucaramanga

Ward *et al.* (1973) define la falla de Bucaramanga como el elemento tectónico más importante en la serie de fallas que se encuentran en el Macizo de Santander, desde donde se extiende hasta la costa Caribe en lo que se define como el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta. Esta estructura se encuentra catalogada como una falla de rumbo evidenciada por los fuertes buzamientos, las notables distancias por las cuales se pueden trazar los lineamientos, valles lineados y variaciones litológicas a ambos lados de la falla. Diversos autores como Campbell (1965) y Julivert (1958) estiman un desplazamiento lateral izquierdo de la falla según el rumbo que varía entre 110 y 100 km. Julivert destaca la importancia de la componente vertical en el desarrollo de este lineamiento, al integrarlo como un componente vertical de un bloque montañoso levantado. Este autor relaciona la falla de Bucaramanga con una serie de fallas inversas con el bloque oriental levantado que se originó durante el desarrollo actual del valle del Magdalena.

El estudio de París *et al.* (2000) considera dos secciones, la sección Santa Marta y la sección Bucaramanga, ésta última correspondiente con el área de estudio. Estos autores estiman la longitud de esta sección en unos 229.8 Km, en donde consideran un rumbo promedio de $N17.1^{\circ}W \pm 13^{\circ}$ con una inclinación aproximada de $60^{\circ}E$ para dicha estructura. Así mismo, afirman un sentido de movimiento sinistral con una tasa de movimiento menor a 0.2 mm/año. Entre las principales expresiones geomorfológicas que evidencia esta estructura, París *et al.* (2000) observaron espolones, ganchos de flexión, facetas triangulares, silletas de falla y lagunas de falla (sag ponds).

1.1.1.2 Falla de Suratá

Ward *et al.* (1973) presentan esta estructura como una falla representativa en cuanto a su extensión respecto a las fallas con dirección noreste que se ubican al costado este de la falla de Bucaramanga. El desplazamiento vertical de la falla Suratá se estima aproximadamente en 2100 m., en el costado occidental se presenta litologías de la Formación Silgará y Girón, hacia la parte norte donde esta se encuentra con una zona sinclinal se presentan rocas de la Formación Bocas. El área circundante a la falla Suratá presenta una serie de fallas de rumbo asociadas que afectan las formaciones Paja y Tablazo, donde se presentan ligeros plegamientos producto del movimiento de estos lineamientos. La historia de movimiento de la falla de Suratá separa rocas de la Formación Bocas, Jordán y Girón de rocas del Cretáceo por bloques limitados por fallas.

1.1.1.3 Falla del Río Cáchira

Esta falla se direcciona casi de forma paralela al valle del río Cáchira y genera grandes desplazamientos que son explicados como movimientos laterales, poniendo en contacto rocas dioríticas con rocas de la Formación Girón. La Falla de Río Cáchira presenta una fuerte influencia en el contacto entre la Formación Girón y la Formación Tambor por el gran desplazamiento vertical que se dio en la estructura (Ward *et al.*, 1973).

1.1.1.4 Falla de Sardina

La falla sardina se extiende paralela a la intrusión ígnea de la Formación Bocas, al sur de la fallas del río Cáchira, delimitada por las unidades litológicas de las formaciones Girón y Tambor, en la dirección en que se propaga la falla se hallan bloques de brecha hacia el sur del río Salamaga (Ward *et al.*, 1973).

1.1.1.5 Falla de Rionegro

La falla de Rionegro por su localización se encuentra muy relacionada a la falla de la Plata. Se extiende en dirección norte muy cerca donde se intersectan los ríos Lebrija y cruza por la parte norte del Municipio de Rionegro, sobre esta falla afloran estratos de la Formación Bocas los cuales se encuentran altamente fracturados en la faja que se encuentra entre las fallas de Rionegro y Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973).

1.1.1.6 Falla del Espino

Su trazo se extiende en dirección norte y se ubica de forma casi paralela a la falla Bucaramanga, la disposición de la falla en afluentes hidrográficos que fluyen hacia el este, muestran una dirección de buzamiento hacia el oeste del plano de falla. Los datos estructurales de la Formación Girón y Bocas que conforman parte de las unidades que afloran sobre la falla buzan en direcciones

oeste y este respectivamente. Esta falla se expone en la zona más baja de la quebrada San Francisco y finaliza en una falla que corta y desplaza la falla Bucaramanga en el sector la Ceiba (Ward *et al.*, 1973).

1.1.1.7 Falla de Solferino

Esta falla se ubica hacia la parte norte central del cuadrángulo H12, por la cual se ha dado un cabalgamiento de rocas del cretáceo sobre la Formación Girón, la deformación sufrida el secuencia cretácica ha invertido sus buzamientos normales en dirección oeste, esta falla finaliza como una falla de rumbo hacia el noreste donde se trunca con unidades cretáceas (Ward *et al.*, 1973).

1.1.1.8 Falla de Cuesta Rica

Esta falla se pone en contacto con la falla de Lebrija produciéndole un pequeño desplazamiento hacia el norte, esta finaliza en la parte oeste de la falla Lebrija en rocas del Terciario (Ward *et al.*, 1973).

1.1.1.9 Falla de La Plata

Esta falla se localiza entre la falla el Espino y la falla de Bucaramanga, delimita bloques de roca de la Formación Jordán y presenta un buzamiento en dirección este. La falla finaliza en un contacto con la falla el Espino hacia el sur (Ward *et al.*, 1973).

1.1.1.10 Falla de Provincia

Ward *et al.* (1973) presentan a la falla de provincia como la responsable de la separación en la parte norte del eje del sinclinal de Nuevo Mundo, hace parte del campo petrolero de Provincia hacia la parte sur. Esta falla produce un leve levantamiento en el costado este del Sinclinal.

1.1.1.11 Falla de la Salina

Ward *et al.* (1977) esta falla marca su trayectoria en dirección norte. Se encuentra en contacto con el límite oeste del sinclinal de Nuevo Mundo, se alcanza extender desde el Cuadrángulo H-12 hasta el Anticlinal las Monas. Falla inversa con buzamiento hacia el este. A lo largo de esta falla el bloque oriental se ha levantado y cabalgado hacia el costado oeste (Ward *et al.*, 1977).

1.1.1.12 Sinclinal de Nuevo Mundo

Esta estructura ha recibido una fuerte influencia de la Falla la Salina la cual ha actuado en el levantamiento de bloques afectando la posición del eje del sinclinal que se encuentra muy cerca de su flanco occidental, abarca litologías del cretáceo y terciario, conformando la parte oriental de un geosinclinal presente en el área (Ward *et al.*, 1977).

1.1.1.13 Sinclinal de Vanegas

Ward *et al.* (1977) mediante datos de rumbo y buzamiento proyectan esta estructura en dirección Noroeste con cabeceo en dirección sur y trazan el eje hasta la falla de Cuesta Rica en su parte norte, la cual se encuentra en contacto con el Sinclinal de Vanegas en su flanco oriental.

1.1.1.14 Anticlinal de Vanegas

El eje de la estructura se traza a lo largo de 14 km limitados por la Formación Girón y la Formación la Luna. La estructura presenta un suave cabeceo y puede continuar hasta la Formación Umir (Ward *et al.*, 1977).

1.1.1.15 Anticlinal de Río Sucio

Esta estructura se encuentra influenciada por rocas de la Formación Lisama, las cuales buzaban hacia el este sobre el flanco oeste de la estructura que suprayacen a la Formación Umir (Ward *et al.*, 1977).

1.1.1.16 Anticlinal de Provincia

El eje del anticlinal se encuentra sobre la superficie en la zona productiva del campo petrolero de Provincia, esta estructura se encuentra limitada hacia el este por el sinclinal de Nuevo Mundo y hacia el oeste por un sinclinal que se localiza sobre la Formación Mesa (Ward *et al.*, 1977).

1.1.1.17 Anticlinal de Las Monas

De acuerdo a las observaciones de Ward *et al.* (1977), esta estructura presenta forma de nariz, con cabeceo al noreste más allá de la Falla de La Salina y posiblemente sea un reflejo de la desaparición de ésta en profundidad. Esta estructura presenta algunas expresiones geomorfológicas en el sector suroccidental del casco urbano del Municipio de Sabana de Torres, en inmediaciones de la vereda Los Cristales.

1.2 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES

El territorio colombiano se sitúa en la esquina suroccidental de Suramérica, sobre toda la zona ecuatorial, por ende, se encuentra influenciado por corrientes de aire húmedo que se producen en los océanos y en la Amazonía. Dichas corrientes tienen su convergencia en nuestro territorio, lo que se conoce como la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), que es la encargada de producir el mayor porcentaje de la precipitación anual. Así mismo, la temperatura es un factor del clima que está asociado a la presión atmosférica, lo que se traduce en variaciones en función de la altura sobre el nivel base.

El área que comprende la Plancha 109-Rionegro incluye los municipios de Matanza, Tona, Lebrija, Rionegro, El Playón y Sabana de Torres, los cuales

presentan alturas que varían entre los 50 m hasta los 3000 m. Debido a la variedad topográfica del terreno, el clima también es un elemento que presenta grandes variaciones en esta región. A una altura determinada, el clima cambia relativamente con la estación.

En Bucaramanga (900 m), las temperaturas medias anuales oscilan entre los 21° y 23° C. Mientras que en zonas de páramo (3200 – 3500 m) las temperaturas van de 7° a 10° C. La lluvia anual total es de unos 1000 a 1500 mm, en donde la mayor precipitación pluvial cae en dos estaciones con máximas en mayo y octubre (Ward *et al.*, 1973).

En el Municipio del Playón se presentan tres categorías climáticas: Cálido semihúmedo, templado semihúmedo y fríos semihúmedo. La temperatura promedio es de 25°C y la precipitación anual es de 1913 mm, con una humedad relativa promedio de 80% (Alcaldía del Playón, 2004).

En Rionegro, se presentan intensas precipitaciones dependiendo de la Formación de cinturones nubosos debido a la condensación de las corrientes de aire húmedo procedente del Amazonas y del Caribe. Algunos datos de estaciones muestran que en la zona cercana al casco urbano (Hacienda El Cocal) la precipitación media anual es de 2832 mm, en la parte media (vereda El Tambor), se registran lluvias de 1717 mm y en la parte baja (Papayal) el promedio de lluvias es de 2652 mm. En cuanto a la temperatura, el promedio es de 21.3°C, con un máximo de 23.2°C y un mínimo de 19.2°C (Alcaldía de Rionegro, 1999).

El Municipio de Sabana de Torres, en cercanías a su casco urbano, presenta valores de precipitación anual entre 2700 y 2900 mm. La temperatura varía entre los 27 y 31°C, dependiendo de días soleados y nublados, al igual que los periodos de invierno y verano. Las máximas temperaturas pueden alcanzar dos grados más y las mínimas hasta dos y tres grados menos de la temperatura promedio (Alcaldía de Sabana de Torres, 2000).

1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS

Para la identificación de las principales características y cualidades de los suelos contenidos en la Plancha 109-Rionegro, se tomó en cuenta el Estudio General de Suelos a escala 1:100.000 del Departamento de Santander (IGAC, 2003). Abarca un total de 42 unidades cartográficas de suelos (UCS), que se distribuyen entre los paisajes de montaña con 55% (23 unidades), 26% (11 unidades) en lomerío, piedemonte con 7,14% (3 unidades), planicie y valle aluvial con 10% (2 unidades c/u) y las zonas urbanizadas con 1,86 % (1 unidad). Todas las unidades se extienden sobre los pisos climáticos muy fríos, fríos, templados y cálidos muy húmedos, húmedos y secos respectivamente.

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

Los suelos se han derivado de materiales parentales de origen sedimentario, ígneo y metamórfico, con cobertura de ceniza volcánica en algunos casos. Se caracterizan por la variabilidad en su drenaje natural, entre excesivos a muy pobremente drenados; son muy superficiales hasta profundos; de reacción (pH) fuertemente a extremadamente ácida y fertilidad baja en las zonas húmedas y muy húmedas, mientras que en las zonas secas tienden a ser ligeramente alcalinos y neutros con fertilidad natural media y alta. En la montaña, las texturas varían entre moderadamente finas (FAr, FArA, FArL) y finas (Ar, ArL, ArA) esqueléticos y fragmentales, con algunos sectores moderadamente gruesos (FA) y de texturas medias (F, FA, FL, L). En los lomeríos, se presentan texturas finas, medias y gruesas (A, AF), en matriz esquelética y fragmental. En los relieves de acumulación correspondientes a valles aluviales, vallecitos y abanicos dominan texturas finas y moderadamente finas en matriz esquelética y fragmental. La composición mineralógica de los suelos está dominada por arcillas de tipo caolinita y montmorillonita, en menor proporción se encuentran las alófanas derivadas de cenizas volcánicas y la vermiculita.

2. GEOMORFOLOGÍA DE LA PLANCHA 109-RÍONEGRO

El territorio colombiano presenta gran diversidad de ambientes geomorfológicos que están asociados a procesos endógenos de formación de relieve y exógenos de modelación, con degradación y agradación de material. Uno de los factores importantes que convierten a Colombia en un país con gran riqueza geomorfológica es la diversidad de climas, lo cual se traduce en los pisos térmicos, ya que cada uno de ellos presenta procesos y mecanismos diferentes que modelan el paisaje de forma particular. Uno de los elementos que influyen notablemente en la variedad climática y geomorfológica de nuestro país, es la presencia de tres cordilleras, occidental, central y oriental, las cuales se derivan del principal sistema montañoso de Suramérica, la Cordillera de Los Andes.

El Departamento de Santander se encuentra ubicado en la geomorfoestructura denominada Sistema Orogénico Andino; y las provincias: Cinturón Orogénico de la Cordillera Oriental y el Valle Intercordillerano del Magdalena. Dentro de este contexto regional, la Plancha 109-Rionegro se encuentra en el flanco Occidental de la Cordillera Oriental incluyendo el Macizo de Santander y la Cuenca del Valle Medio del Magdalena incluyendo la sub-cuenca del río Lebrija.

Para una mejor comprensión del área estudiada se consideraron tres franjas importantes: Oriental, Central y Occidental, limitadas de este a oeste por la Falla de Bucaramanga y el curso del río Lebrija.

La franja oriental corresponde a la Cordillera Oriental propiamente dicha, que en esta zona alcanza alturas de 3000 msnm hacia el sector de La Cuchilla El Común y la vereda El Porvenir, del Municipio de Suratá. Esta zona abarca parte de la jurisdicción de los municipios de El Playón, Rionegro, Matanza, Suratá, Charta, Tona y Bucaramanga y se caracteriza por presentar diversidad de prominencias y elevaciones del terreno, que la convierten en la franja más alta topográficamente, cuyos drenajes principales son los ríos Playonero, Rionegro, río Cachirí, ríos Suratá, río Charta y el río Tona, cuyos afluentes forman patrones de drenaje sub-paralelo. Geológicamente se ubica dentro del Macizo de Santander, conformado por rocas de basamento Precámbrico y Predevónico, como Neises, Esquistos y Filitas de la Formaciones Neis de Bucaramanga y Silgará, así como cuerpos intrusivos Jurásicos Granodioríticos y cuarzomonzoníticos y en menor proporción rocas sedimentarias cretácicas de la secuencia del Valle Medio del Magdalena. Hay desarrollo de suelos

residuales poco desarrollados a partir de las unidades ígneas y metamórficas que se encuentran moderada a altamente meteorizadas. Geomorfológicamente el ambiente que predomina es el estructural, cuyo control es ejercido por las Fallas de Bucaramanga y Suratá que dan lugar a una red de lineamientos y fallas satélites que definen unidades como escarpes de línea de falla, lomos de falla, espolones estructurales (faceteados y festoneados) y lomos de presión entre otras geoformas.

La franja central, corresponde a una zona intermedia topográficamente que no supera los 1200 msnm y abarca parte de la jurisdicción de los municipios de El Playón, Rionegro y Lebrija. Esta zona es drenada por ríos importantes como el río de Oro, río Lebrija, río Sucio y el río Salamaga, cuyos afluentes se distribuyen formando patrones de drenaje sub-paralelo a sub-dendrítico. Geológicamente esta zona presenta rocas sedimentarias meteorizadas del Jurásico, Triásico y Cretácico de las Formaciones Girón, Bocas y parte de la secuencia del Valle del Magdalena Medio. Gran parte de estas rocas desarrollan suelos residuales delgados producto de los procesos de meteorización y erosión que han experimentado. Geomorfológicamente esta franja presenta dominio denudativo hacia el Centro y Oriente, mientras que hacia el límite Occidental, vuelve a aparecer el ambiente estructural asociado a rocas Terciarias de las formaciones Lisama, La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Real, que se encuentran poco meteorizadas y buzan al oeste para conformar el flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo. Dentro del ambiente denudativo se aprecian geoformas de Montículos y ondulaciones denudacionales, Lomeríos disectados, Colinas remanentes, Cerros residuales y Depósitos de coluvión. En el ambiente estructural hay buena expresión de geoformas como Sierra Sinclinal, Laderas estructurales y de contrapendiente de Sierra Sinclinal y Anticlinal, Cuesta estructural y Espinazo estructural.

La franja occidental se localiza sobre el costado oeste del río Lebrija y es la zona más baja y plana topográficamente, en donde la máxima altura no supera los 500 msnm. Esta región comprende parte del Municipio de Lebrija y del Municipio de Sabana de Torres. Los principales ríos que bañan esta área son el río Sogamoso, río Sucio y el río Lebrija, cuyos afluentes dan lugar a redes de drenaje de tipo sub-dendrítico a dendrítico. La geología de esta área se compone de rocas sedimentarias Paleógenas de las formaciones Mugrosa, Real y Mesa así como depósitos Cuaternarios aluviales. El ambiente geomorfológico predominante es el Fluvial, aunque hay algunos sectores denudativos y esporádicas zonas con remanente estructural. El ambiente fluvial ha sido labrado por procesos de acumulación de los cauces del río Lebrija y del río Sogamoso, dando lugar a geoformas como Cauce aluvial activo, Barras puntuales y longitudinales, Meandro abandonado, Planicie o llanura de inundación y Terraza aluviales subrecientes. Las geoformas de origen denudativo presentes en esta franja son Planicies colinadas denudadas y

Peneplanicies o penillanuras, las cuales son el resultado de procesos de erosión intensa que afectó diferencialmente a los macizos rocosos intensamente meteorizados y además por aplanamiento de una superficie originalmente quebrada, que ha quedado rebajada hasta una cuasi-llanura. Mientras que las geoformas de origen estructural aparecen como vestigios de procesos de plegamiento y fallamiento más antiguos, como es el caso del Anticlinal de Las Monas y la Falla de La Salina, que forman laderas estructurales y de contrapendiente hacia el límite Occidental de la Plancha 109-Rionegro en la vereda Cristales del Municipio de Sabana de Torres.

Todos los procesos y características mencionadas anteriormente, se exponen de manera más detallada mediante la descripción de los ambientes y las geoformas asociadas presentes en la zona de estudio (Figura 8).

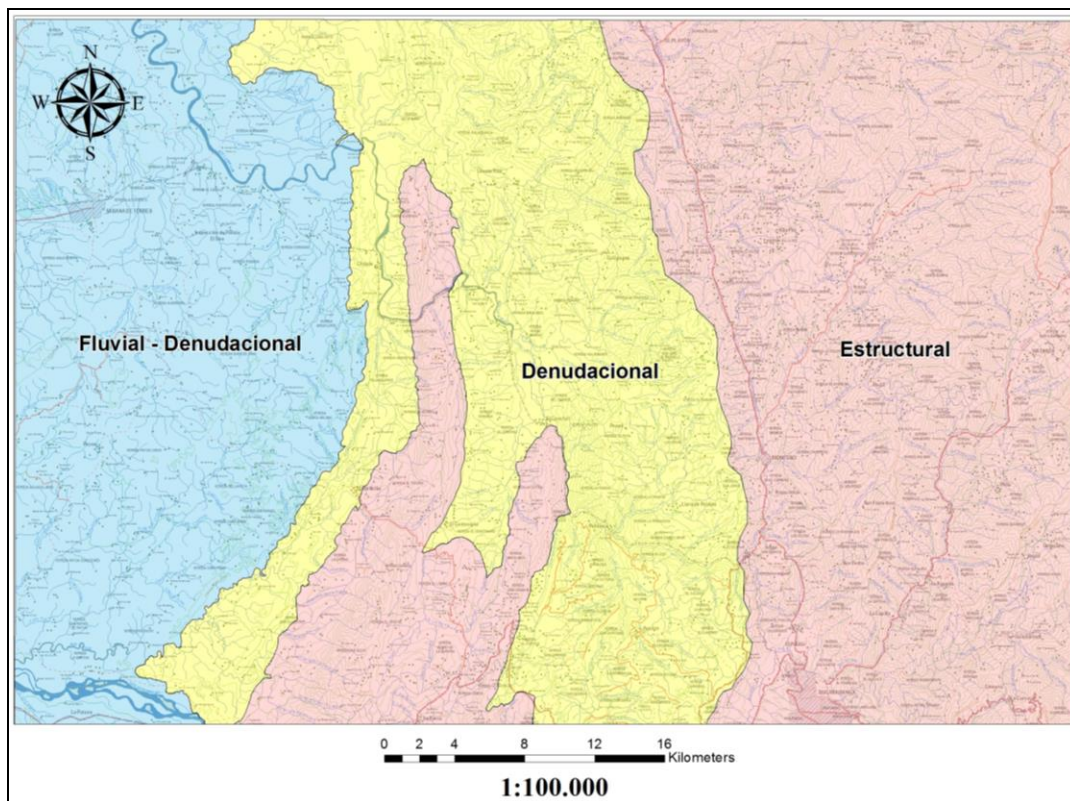


Figura 8. Zonas definidas para la sectorización de la Plancha 109-Rionegro en cuanto a ambientes geomorfológicos: Franja Oriental (Rosado), Franja Central (Amarillo), Franja Occidental (Azul Celeste).

En la Tabla 6 se detalla el porcentaje y el área que ocupa cada unidad geomorfológica (por ambiente) en el terreno que abarca la Plancha 109-Rionegro y en el Anexo C se proyecta el mapa de unidades geomorfológicas de la Plancha 109-Rionegro a escala 1:100.000.

Tabla 6. Área en hectáreas y porcentaje que ocupa cada una de los ambientes y unidades geomorfológicas encontrados en la Plancha 109-Rionegro.

| UNIDAD | AREA (m ²) | AREA (%) | AMBIENTE | AREA % | | |
|--------|------------------------|----------|--------------|--------|---------|-------|
| Dco | 18567878,8 | 0,77 | DENUDACIONAL | 39,51 | | |
| Dcr | 2422522,89 | 0,10 | | | | |
| Dcrem | 1065485,06 | 0,04 | | | | |
| Dcremd | 63943042,3 | 2,66 | | | | |
| Ddi | 702347,735 | 0,03 | | | | |
| Ddtr | 466934,606 | 0,02 | | | | |
| Deeme | 7081241,74 | 0,30 | | | | |
| Dfe | 316160,038 | 0,01 | | | | |
| Dldi | 137360668 | 5,72 | | | | |
| Dle | 20787780,3 | 0,87 | | | | |
| Dlmd | 35620720,4 | 1,48 | | | | |
| Dmab | 4939974,79 | 0,21 | | | | |
| Dmo | 155761490 | 6,49 | | | | |
| Dp | 6322432,76 | 0,26 | | | | |
| Dpcd | 144954293 | 6,04 | | | | |
| Dpn | 153429207 | 6,39 | | | | |
| Dsd | 172500620 | 7,19 | | | FLUVIAL | 13,94 |
| Dsr | 21925257,6 | 0,91 | | | | |
| Fbl | 1801393,57 | 0,08 | | | | |
| Fca | 12373035,7 | 0,52 | | | | |
| Fcdy | 11660547,5 | 0,49 | | | | |
| Fma | 460420,69 | 0,02 | | | | |
| Fpac | 324105,798 | 0,01 | | | | |
| Fpi | 251404941 | 10,48 | | | | |
| Fta | 7175138,99 | 0,30 | | | | |
| Ftae | 4810819,61 | 0,20 | ESTRUCTURAL | 46,55 | | |
| Ftan | 350552,895 | 0,01 | | | | |
| Ftas | 44198090,4 | 1,86 | | | | |
| Sc | 41215015 | 1,72 | | | | |
| Se | 40492203,5 | 1,69 | | | | |
| Sefc | 77941903,6 | 3,25 | | | | |
| Sefes | 118920010 | 4,96 | | | | |
| Ses | 116114965 | 4,84 | | | | |
| Sft | 3382893,42 | 0,14 | | | | |
| Sgf | 38827747 | 1,62 | | | | |
| Slcp | 4710791,35 | 0,20 | | | | |

| UNIDAD | AREA (m ²) | AREA (%) | AMBIENTE | AREA % |
|--------------|------------------------|------------|----------|---------------|
| Sle | 8474318,53 | 0,35 | | |
| Slf | 11753651,5 | 0,49 | | |
| Slfe | 35337642,3 | 1,47 | | |
| Slo | 13895642,4 | 0,58 | | |
| Sm | 5620404,21 | 0,23 | | |
| Sme | 11832888,7 | 0,49 | | |
| Ssalc | 18199531,9 | 0,76 | | |
| Ssale | 29557885 | 1,23 | | |
| Ssan | 11220956,9 | 0,47 | | |
| Ssbe | 14823993,2 | 0,62 | | |
| Sshlc | 104069217 | 4,34 | | |
| Sshle | 147323145 | 6,14 | | |
| Sslp | 33122401,9 | 1,38 | | |
| Sss | 14011698,5 | 0,58 | | |
| Ssslc | 101872175 | 4,24 | | |
| Sssle | 113229231 | 4,72 | | |
| Svc | 1310830,61 | 0,05 | | |
| Total | 2400'000.000 | 100 | | 100,00 |

2.1 GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL

Es el segundo ambiente en importancia dentro del territorio que cubre la Plancha 109-Rionegro. Está conformado por expresiones geomorfológicas que corresponden al resultado de procesos exógenos actuando sobre geoformas pre-existentes a través del tiempo geológico. Las unidades que se incluyen dentro de este ambiente abarcan un 39,51% del área de estudio y se caracterizan por conformar relieves residuales y remanentes asociados a depósitos y formas que han sido modeladas por la acción del agua, el viento y el componente biótico. Las geoformas de origen denudacional encontradas fueron: Conos coluviales, Colinas residuales, Colinas remanentes, Colinas remanentes muy disectadas, Deslizamientos indiferenciados, Cono de flujos de detritos, Lomeríos indiferenciados, Montículos y ondulaciones denudacionales, Planicies colinadas, Penillanuras, Sierras residuales y sierras denudadas.

2.1.1 Cono o lóbulo coluvial (Dco)

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,77% del total de la plancha. Corresponde a depósitos de pie de ladera, que se generan a partir de la acción de la gravedad sobre material meteorizado, el cual es traspuesto por gravedad y depositado a manera de conos o lóbulos con relieve bajo, de pendiente inclinada a abrupta y en laderas cortas a moderadamente largas de morfología

convexa. En general, estos depósitos son matriz-soportados y están compuestos por cantos y bloques sub-angulares y sub-redondeados de composición heterogénea (dependiendo de las rocas que predominen en la zona) embebidos en matriz arcillo-limosa a areno-arcillosa.

En la zona de estudio que abarca la Plancha 109-Rionegro, se encontró una franja central de depósitos coluviales que se ubican en la parte baja de laderas de contrapendiente asociadas al flanco oriental del sinclinal de Nuevo Mundo, específicamente en los límites de la vereda Canoas y la vereda El Tesoro (Lebrija), así como en las veredas Cerro de la Aurora, la Renta (Lebrija) y las veredas Galápagos y Puyana (Rionegro). La mayoría de estos depósitos corresponden a movimientos en masa antiguos, por lo que una temporada invernal fuerte o cualquier otro factor detonante que actúe con la suficiente intensidad puede reactivar el movimiento de estos depósitos. Por esta razón se consideran como geoformas de especial interés en el análisis morfodinámico de ésta región.

Esta geoforma representa especial atención, pues corresponde al depósito no consolidado de mayor susceptibilidad ante movimientos en masa. Por tratarse de un depósito cuyo comportamiento geomecánico lo hace muy inestable, la ponderación que tiene para calificación de susceptibilidad de la variable morfodinámica es muy alta. Las características morfométricas como su pendiente suave y extensiones moderadas, hacen de esta geoforma un sitio común en el cual se encuentran asentamientos humanos, sin embargo, las propiedades físicas del material constituyente como su escaso nivel de compactación y su alta sensibilidad a cambios de humedad natural, lo hacen muy susceptible a moverse generando serios problemas para la población

En la Figura 9 y Figura 10 se muestra el detalle de algunos depósitos de coluvión encontrados en campo.



Figura 9. Panorámica tomada al W de un Depósito coluvial, que presenta forma lobular. Ladera encontrada en inmediaciones a Cuesta Rica, Municipio de Rionegro (Santander).

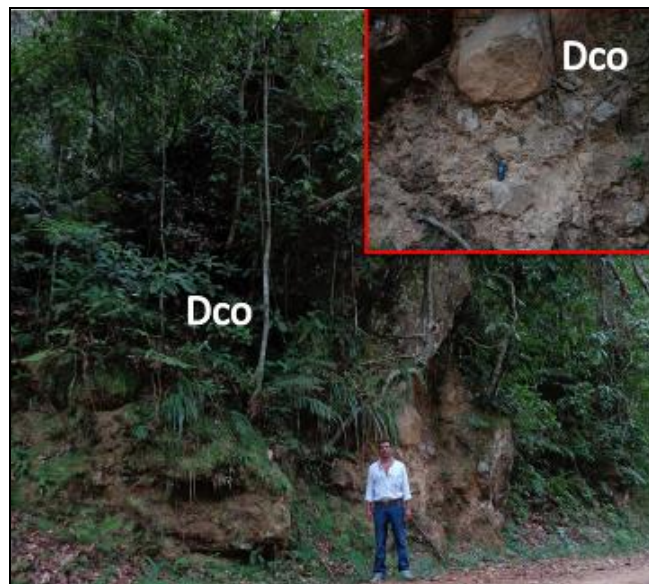


Figura 10. Fotografía tomada al SW de un depósito coluvial; se observan bloques de diversos tamaños que alcanzan los 3 m de espesor. Inmediaciones de la vía que comunica al Corregimiento de Uribe Uribe, Municipio de Sabana de Torres con la vereda Centenario, Municipio de Lebrija (Santander).

2.1.2 Colina residual (Dcr)

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,10% del total de la plancha. Esta unidad se definió con base en fotointerpretación de imágenes Landsat, mapa de sombras, Google Earth, mapa de pendientes, así como el análisis de la variable suelos para esta zona.

Una colina residual corresponde a una elevación del terreno entre los 200 y 399 metros, que presenta cimas redondeadas y amplias, limitada por laderas convexas, cortas a moderadamente largas, con pendiente inclinada.

Cabe aclarar que esta unidad se observó en la vereda San Pedro (El Playón), y su expresión se da como una elevación topográfica relativamente aislada y sobresaliente con una altura no mayor a 300 m, poco disectada, con predominio de procesos denudativos. Presenta procesos locales de reptación y erosión en terracetas. Esta geoforma se asocia a suelos residuales de espesor moderado derivados de un cuerpo riolítico local no diferenciado, que intruyó a la secuencia sedimentaria en este sector (Figura 11).



Figura 11. Expresión morfológica de la unidad Colina residual. Imagen satelital extraída de Google Earth. Se observa la prominencia topográfica relativamente aislada con predominio de procesos denudativos. Vereda San Pedro, Municipio del Playón. La línea roja indica la delimitación de la geoforma.

2.1.3 Cerro remanente (Dcrem)

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,04% del total de la plancha. Esta geoforma está representada por una elevación del terreno aislada, de morfología colinada, que sobresale de la topografía circundante. También se caracteriza por presentar cimas entre agudas y redondeadas, limitadas por

laderas moderadamente largas, de formas convexas. El origen este elemento geomorfológico se asocia a procesos de erosión y meteorización diferencial antigua, que dan lugar a la aparición de formas remanentes de este tipo.

Esta geoforma se presenta sobre el margen derecho de la quebrada Silgará en la vereda que lleva el mismo nombre. Allí, un extenso bloque de cuarzomonzonita altamente fracturadas y meteorizadas, da lugar a un cerro relativamente aislado y sobresaliente de la topografía circundante, el cual corresponde a un remanente de procesos denudativos intensos que han actuado sobre dichas rocas a lo largo del tiempo geológico. Esta unidad presenta algunos procesos de erosión como zonas expuestas con cárcavas y surcos así como deslizamientos traslacionales sobre la vía que conduce hacia El Filo en cercanías al sitio Las Rocas del Municipio de Rionegro. El material que está fallando en estos sectores corresponde a suelos residuales derivados de este gran cuerpo intrusivo (Figura 12). En esta geoforma las rocas presentan alto grado de meteorización por lo cual, la inestabilidad de estos terrenos da lugar a deslizamientos traslacionales de suelo residual.

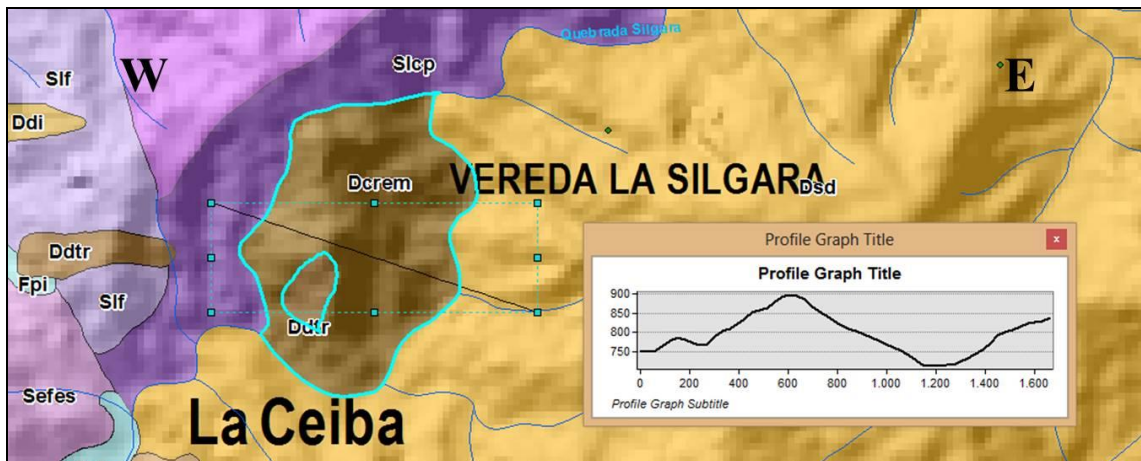


Figura 12. Perfil topográfico de la unidad Cerro Remanente. Se puede apreciar que esta geoforma sobresale de la topografía circundante y constituye una unidad aislada que ha quedado como remanente de procesos denudativos en este caso sobre rocas ígneas aflorantes sobre márgenes de la quebrada Silgará.

2.1.4 Colina remanente muy disectada (Dcremd)

El porcentaje en área de esta unidad es de 2,66% del total de la plancha. Esta unidad se presenta como elevaciones del terreno con alturas que no superan los 400 metros sobre el nivel base local. Se caracterizan por presentar cimas redondeadas y estrechas limitadas por laderas moderadamente largas convexas con pendiente escarpada.

El origen de estas geoformas se asocia a procesos denudativos a través del tiempo geológico que han dado lugar a un alto grado de disección de las laderas, dando lugar a la Formación de valles en V.

La zona de estudio presenta este tipo de unidad en las veredas La Pradera, Unión de Galápagos, Calichana, La Paz, El Bambú y Florencia del Municipio de Rionegro y en las veredas La Virginia y La Ceiba del Municipio de El Playón (Figura 13).

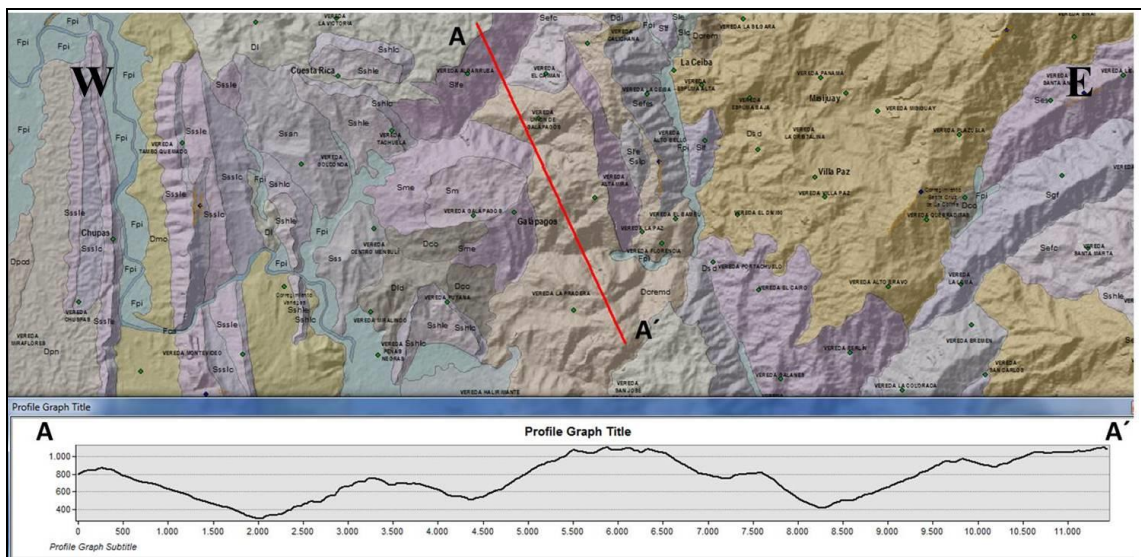


Figura 13. Perfil Topográfico en el cual se observa la variación relativa de alturas en las veredas del sector occidental del Municipio de Rionegro. La variación de altura promedio no alcanza los 400 m de altura y el grado de disección es notable por lo cual se ha definido esta unidad como Colinas remanentes muy disectadas.

Las unidades geológicas que dan lugar a esta unidad geomorfológica son rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas dispuestas en una secuencia que abarca desde el Triásico hasta el Cretácico, las cuales se encuentran altamente fracturadas y meteorizadas desarrollando suelos residuales de espesores moderados que en épocas de lluvias son muy susceptibles a generar movimientos en masa. Los principales procesos de erosión que presenta esta geoforma son terracetos y erosión surcos.

El alto grado de disección que presenta esta unidad ha dado lugar a que se generen laderas con procesos de reptación de suelos y algunos deslizamientos cuyo tamaño no es cartografiable a la escala de trabajo (Figura 14).



Figura 14. Panorámica NW de la unidad de Colinas remanentes muy disectadas "Dcremd". Se observan las cimas redondeadas y estrechas limitadas por laderas cortas a moderadamente largas con procesos de erosión en terracetos e incipientes procesos de reptación en algunos sectores. Al fondo se aprecia el trazo de la Falla del río Cáchira, con su Escarpe de Falla "Slfe" asociado. Inmediaciones de la vía que comunica al casco urbano de Rionegro con el corregimiento de Galápagos, vereda Galápagos. La línea roja punteada indica el trazo principal de la falla.

2.1.5 Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi)

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,03% del total de la plancha. Esta geoforma está ligada a procesos de movimientos en masa. Consiste de conos y lóbulos de suelo o roca con morfología baja, dispuestos en nichos semicirculares con bloques inclinados. Se caracteriza por Formación de grietas y cambios súbitos de pendiente. Por lo general se asocian a suelos fallados por corte, que dan lugar a movimientos en masa que dejan como resultado esta geoforma.

La región centro-oriental del área de estudio que abarca toda la zona de influencia de la Falla de Bucaramanga y lineamientos asociados, se caracteriza por presentar gran cantidad de deslizamientos, sin embargo, el movimiento que a la escala de trabajo fue considerado como geoforma, se presenta en un sector aledaño al corregimiento de La Ceiba, Municipio de El Playón. Allí, el alto grado de meteorización que presentan las rocas de la Formación Bocas (TRb) y su alto grado de fracturamiento, ha dado lugar a la Formación de suelos residuales areno-limosos saturados de espesores moderados, que propiciaron la Formación de grandes deslizamientos traslacionales y flujos que aportan



material a una corriente que desemboca en la quebrada Aguacaliente generando avalanchas y avenidas torrenciales en época de lluvias (Figura 15).



Figura 15. Panorámica W de la unidad de Deslizamientos indiferenciados. Geoforma constituida por deslizamientos traslacionales sobre rocas de la Formación Bocas, cuyo material es depositado sobre un drenaje afluente de la quebrada. Aguacaliente, generando avalanchas.

Cabe resaltar que la zona que se constituye como un foco de deslizamientos corresponde a algunas veredas de los municipios de El Playón y Rionegro respectivamente, debido principalmente a la alta densidad de fracturamiento y al tipo de material y el grado de meteorización que presenta en este sector.

Esta geoforma es de suma importancia en el análisis morfodinámico, pues corresponde a movimientos activos que fueron identificados en la fase de campo y que constituyen una amenaza latente para la población que tiene su asentamiento en este sector, por lo cual esta geoforma tiene la calificación más alta de susceptibilidad a movimientos en masa.

2.1.6 Cono de deslizamiento traslacional (Ddtr)

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,02% del total de la plancha.

Corresponde a una geoforma de morfología suavemente ondulada que se origina debido a un movimiento de material (rocas y/o suelo) a lo largo de una superficie de falla aproximadamente planar. El principal elemento que favorece este tipo de movimiento son los planos de debilidad (estratificación, diaclasamiento, contacto suelo-roca), los cuales permiten el desplazamiento de un bloque o capa de roca o suelo sobre otro.

En la zona de estudio esta unidad se presenta en rocas sedimentarias de la Formación Bocas (TRb) que presentan gran densidad de fracturamiento y un alto grado de meteorización que da lugar al desarrollo de suelos residuales con espesores considerables. Nuevamente el factor detonante principal son las temporadas de lluvias y en este caso también influyen los procesos de socavación que tienen lugar principalmente en el pie del talud que limita el cauce del río con la vía Rionegro-El Playón. (Figura 16).

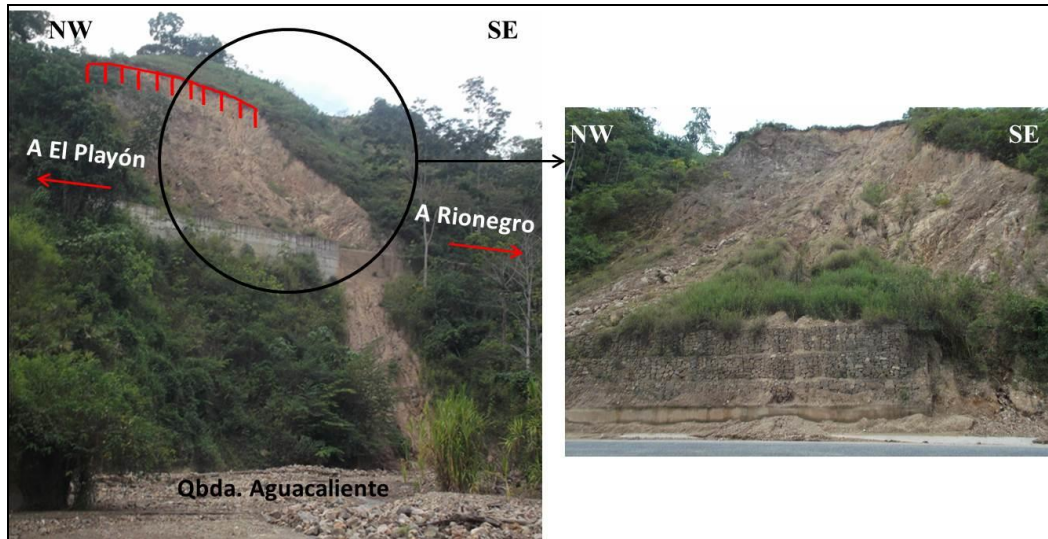


Figura 16. Panorámica NE de la unidad de Cono de deslizamiento traslacional Ddtr. Cerca de la vía que comunica los municipios de Rionegro y El Playón. Suelo residual derivado de sedimentitas de la Formación Bocas (TRb). En línea roja la zona de escarpe.

En la vereda Calichana del Municipio del Playón, se han presentado deslizamientos consecutivos no diferenciados en los que ha fallado la capa de suelo residual sobre el macizo rocoso. En algunos sectores se puede observar movimientos que ocurren sobre los taludes que limitan el cauce de la quebrada Aguacaliente, los cuales se encuentran relativamente cercanos uno del otro, pero no superan los 100 metros de longitud y de ancho pueden llegar a 60 metros, sin embargo, son de interés debido a que afectan a algunos tramos de la vía Rionegro-El Playón y han generado bloqueos temporales.

2.1.7 Escarpe de erosión menor (Deeme)

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,30% del total de la plancha. Corresponde a una ladera abrupta a manera de escalón sub-vertical de longitud corta, de forma convexa, relativamente recta, con pendiente muy escarpada. Esta geoforma se origina por procesos de incisión y socavación de un drenaje o por movimientos en masa remontantes a lo largo del mismo (**Figura 17**).

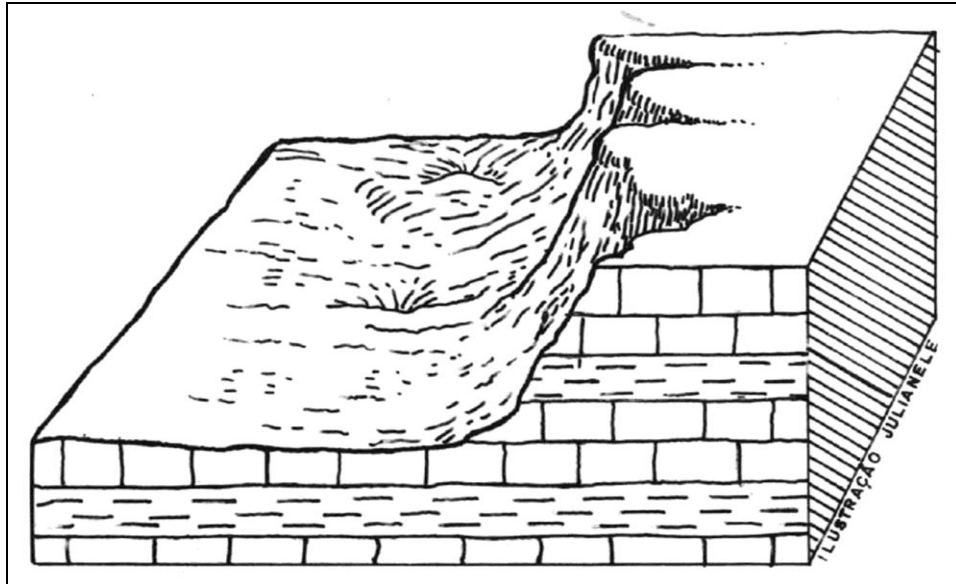


Figura 17. Esquema representativo de la unidad de Escarpe erosivo menor. Tomado y adaptado de Almeida, B. *et al* (1995).

En la zona de estudio estos escarpes erosivos están asociados principalmente a antiguos escarpes de terrazas y abanicos aluviales, que debido a procesos de erosión e incisión de drenajes, han dado lugar a zonas con material expuesto que al ser meteorizado da lugar a taludes sub-verticales con presencia de procesos de carcavamiento y surcos, que en algunos casos desencadenan movimiento en masa muy locales. Estos escarpes ocurren en el sector del Pablón (norte de Bucaramanga) y bordeando la mesa de abanico sobre la cual se encuentra el casco urbano de Bucaramanga (Figura 18).

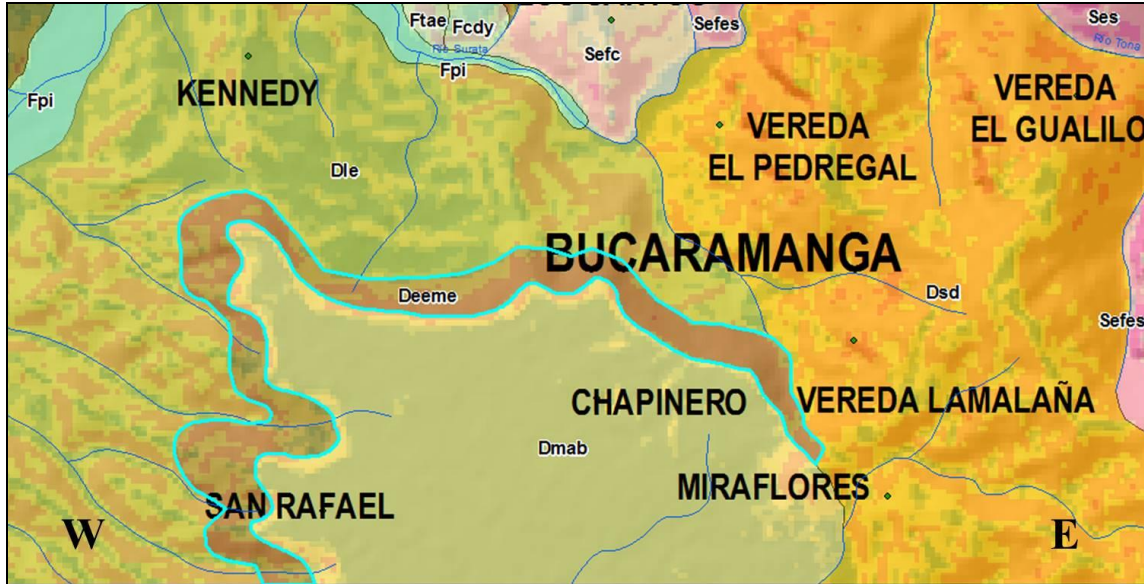


Figura 18. Unidad de Escarpe erosivo menor asociado a un antiguo escarpe de abanico aluvial. Se aprecia de fondo con transparencia, los tonos naranjas que indican pendientes escarpadas asociadas a dicha geoforma. Esta unidad se encuentra bordeando la mesa del abanico de Bucaramanga, en los barrios que se ubican sobre las laderas norte y occidental del abanico.

2.1.8 Cono y flujos de detritos (Dfe)

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,01% del total de la plancha. Esta geoforma corresponde a un movimiento de tipo flujo de detritos cuyas dimensiones dan lugar a un lóbulo limitado por laderas de longitud larga, de forma convexa redondeada con pendiente inclinada. La característica típica de esta unidad, es su disposición a manera de albardón o dique longitudinal con canales en forma de u. El origen de esta geoforma está asociado al transporte y depositación torrencial de sedimentos clasto soportados.

En la zona de estudio se logró interpretar esta unidad en inmediaciones de las veredas Angelinos y San Joaquín del Municipio de Lebrija. En este sector se presenta un flujo de detritos cuyo movimiento tiene dirección NNW con una longitud aproximada de 1,3 Km y 160 metros de ancho (Calculada con herramienta SIG). La unidad litológica involucrada corresponde a rocas de la Formación Simití con desarrollo de suelos residuales. Este tipo de geoforma representa una amenaza latente porque se encuentra sobre una quebrada que en temporada de lluvias puede incrementar el flujo de material generando avenidas torrenciales y/o avalanchas (Figura 19).



Figura 19. Panorámica S de la unidad Cono y Flujo de detritos Dfe. Imagen satelital adquirida con Google Earth. Se observa el flujo de detritos en un sector de la vereda Los Angelinos al Noroeste del Municipio de Lebrija.

2.1.9 Lomeríos disectados (Dldi)

El porcentaje en área de esta geoforma es de 5,72% del total de la plancha. Conjunto de prominencias topográficas de morfología alomada, con cimas amplias y redondeadas, limitadas por laderas cortas y moderadamente largas con pendientes muy inclinadas a abruptas. El índice de relieve que generan estas elevaciones es bajo. Esta unidad se forma por procesos de denudación intensos que da lugar a laderas disectadas, generando valles en U con fondo redondeado.

Esta geoforma abarca una extensión relativamente grande, siendo la expresión geomorfológica de suelos residuales derivados de rocas sedimentarias de la Formación Bocas y Girón. Se aprecia en algunas veredas de los municipios del Playón y Rionegro, como lo son, la vereda Aguablanca, La Victoria (El Playón), Centro de Menzulí, Galápagos y La Pradera entre otras (Rionegro). Así mismo, tiene buenas expresiones en la zona rural de Lebrija, en especial las veredas Puyana, Llamadas, Santa Rosa y La Esmeralda, las cuales se pueden observar en cercanías al aeropuerto Palonegro (Figura 20).



Figura 20. Panorámica N de la unidad Lomeríos disectados Dldi. La distribución espacial la unidad se caracteriza por la repetición de lomas alargadas separadas por una red de drenaje densa.

El principal proceso erosivo que se evidencia en esta unidad, son las terracetas o patas de vaca generadas por el pastoreo de ganado que es el segundo tipo de uso del suelo después de la agricultura en estos sectores. Aunque la topografía de dichas zonas no es propicia para la generación de movimientos en masa acentuados, se pueden observar procesos de reptación de suelos de menor extensión. Así mismo, los extensos cultivos de cítricos, se constituyen en un elemento que brinda cierto grado de estabilidad a los suelos (**Figura 21**).



Figura 21. Panorámica NW de la unidad de lomeríos disectados Dldi. Se observa en el centro de la fotografía los cultivos de cítricos y a la derecha inmediaciones de la vía que comunica las veredas El Progreso y Llamadas, del Municipio de Lebrija.

2.1.10 Ladera erosiva (Dle)

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,87% del total de la plancha.

La principal expresión de esta unidad geomorfológica se da en la parte distal del abanico de Bucaramanga, en donde los intensos procesos de denudación que han actuado a lo largo del tiempo geológico sobre este depósito fluvio-torrencial que corresponde a la Formación Bucaramanga, ha modelado su morfología dando lugar a laderas irregulares, disectadas, de longitudes moderadamente largas y pendientes muy inclinadas, con patrones de drenaje sub-paralelo y presencia de procesos de erosión acentuados. Por tal razón, estas laderas no se encuentran asociadas a ninguna estructura regional.

Estas laderas erosivas que bordean la mesa del abanico de Bucaramanga, se caracterizan por presentar fuertes procesos erosivos que han dado lugar a la Formación de cárcavas y estoraques y algunos movimientos en masa de tipo deslizamiento rotacional y flujos de tierra que no superan los 50 metros de longitud y de ancho pueden tener 50 metros. Sin embargo, se considera una zona de amenaza latente debido a que el material allí presente corresponde a depósitos no consolidados de origen fluvio-torrencial que son muy sensibles a los cambios de humedad, por consiguiente en épocas de lluvia dan lugar a deslizamientos que comprometen la seguridad de los barrios ubicados en el límite Occidental y norte de la cabecera municipal de Bucaramanga (Figura 23).

2.1.11 Lomeríos muy disectados (Dlmd)

El porcentaje en área de esta geoforma es de 1,48% del total de la plancha. Esta unidad se presenta como una repetición de elevaciones del terreno con morfología alomada, con cimas agudas estrechas, limitadas por laderas cortas a moderadamente largas de formas cóncavas y de pendientes abruptas. Los procesos intensos de denudación sobre rocas sedimentarias Triásicas de la Formación Bocas dan lugar a un alto grado de disección en los materiales que conforman las laderas que limitan los lomeríos, formando valles en V.

La vía que conduce desde el Playón hacia Cuesta Rica, se encuentra sobre esta geoforma. En los sectores de las quebradas San Pedro de La Tigra, Caño de Oro y La Saltera, cercanías a las escuelas de La Reforma y Mirabel y parte de la vereda Aguablanca que pertenecen a los municipios del Playón y Rionegro. En esta zona se puede apreciar un patrón de drenaje sub-dendrítico con alto grado de incisión lo que da lugar a un alto grado de disección de las laderas. Aunque no se encontraron movimientos en masa cartografiados, es importante anotar la presencia de procesos de reptación muy locales y predominio de erosión en terracetas, pues esta zona presenta cobertura vegetal de hierbas y pastos aptos para la ganadería (Figura 22).

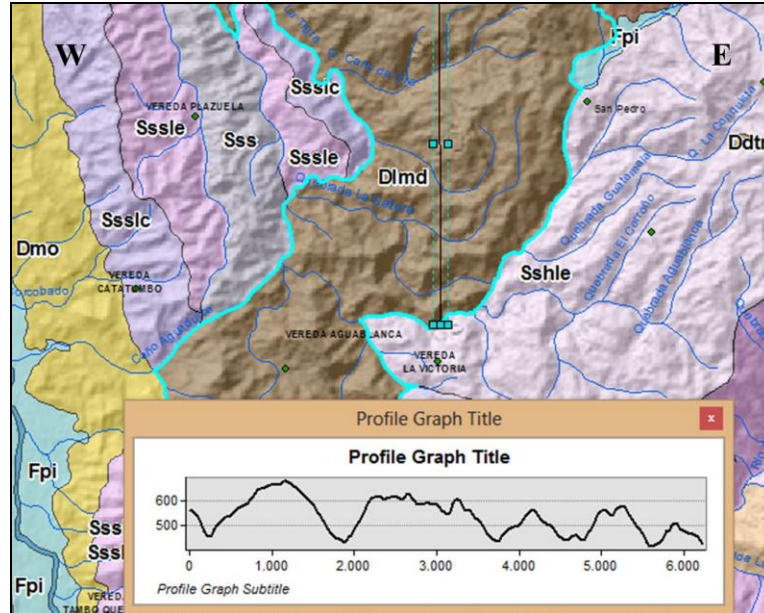


Figura 22. Aspecto de la unidad de Lomeríos muy disectados. Esta geoforma se caracteriza por presentar redes de drenaje con alto grado de disección, lo que se puede observar en el perfil topográfico generalizado. Estas prominencias topográficas no superan los 200 m de altura en promedio. Vereda Aguablanca, Municipio de Rionegro.

2.1.12 Mesa de abanico (Dmab)

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,21% del total de la plancha.

Esta geoforma, está conformada por depósitos de abanico fluviotorrencial de la Formación Bucaramanga. Se caracteriza por presentar una morfología aterrazada, plana a ligeramente inclinada. Esta unidad se encuentra limitada por laderas irregulares. Aunque podría considerarse como un abanico fluviotorrencial, los procesos denudativos y erosivos se han encargado de moldear dicha geoforma de manera que en la actualidad predomine un modelado de tipo denudativo.

Esta geoforma se caracteriza porque sobre ella se cimentó el casco urbano del Municipio de Bucaramanga, capital del Departamento de Santander, por lo cual esta geoforma representa gran importancia en cuanto al análisis de Susceptibilidad por movimientos en masa. Con respecto a procesos de erosión y movimientos en masa cabe anotar que por tratarse de una geoforma relativamente plana con pendientes que no superan el 7% no hay presencia notable de movimientos en masa, pero si se pueden apreciar procesos muy locales de erosión en cárcavas y surcos que en algunos sectores del casco urbano, han sido ocultados por la extensión masiva de la zona urbana (Figura 23).



Figura 23. Panorámica SE de la unidad Mesa de Abanico Dmab. Fotografía tomada desde el Municipio de Lebrija en inmediaciones entre las veredas Puyana y El Progreso. Se observa la parte distal del abanico de Bucaramanga muy disectado, con evidencias de erosión en cárcavas. La línea roja indica límite entre geoformas.

2.1.13 Montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo)

Los montículos y ondulaciones denudativas están conformados por un conjunto de prominencias topográficas con altura menor de 50 metros, de morfología colinada, limitada por laderas convexas y cóncavas, cortas, de pendiente muy inclinada a abrupta, con índice de relieve muy bajo. Suele presentar cobertura vegetal con predominio de matorrales, vegetación herbácea y cultivos. Presenta un patrón de drenaje sub-dendrítico, de textura mediana, con frecuencia y densidad bajas (Figura 24).

En el Municipio de Rionegro, en las veredas Llano de Palmas y Popas, los montículos y ondulaciones denudativas se presentan en suelos residuales de rocas sedimentarias de la Formación Girón (Figura 25). Allí se observan movimientos en masa de tipo reptación y deslizamiento rotacional, con procesos de erosión en terracetas.

Esta unidad geomorfológica presenta una extensa distribución en el Municipio de Lebrija. En las veredas Aguirre, Puyana, El Progreso, La Esmeralda, San Lorenzo, Cantabria, Santa Rosa, Llanadas, el material que compone a esta geoforma está constituido por rocas sedimentarias jurásicas de la Formación Girón, las cuales presentan moderado a alto grado de meteorización. En las veredas Chingua, El Conchal y El Centenario, el material que predomina en esta unidad son arcillolitas meteorizadas de la Formación Umir del Cretácico Superior. Así mismo, en las veredas Uribe Uribe, Palenqueros, Angosturas, La

Girona y San Silvestre, se aprecian montículos asociados a suelos residuales derivados de rocas sedimentarias Terciarias de las Formaciones Esmeralda, Mugrosa y Real (**Figura 26**). En la mayoría de los sitios mencionados, esta geoforma suele presentar procesos incipientes y locales de reptación de suelos, así como erosión en terracetas y surcos. El porcentaje en área de esta unidad es el 6,49% del total de la plancha.

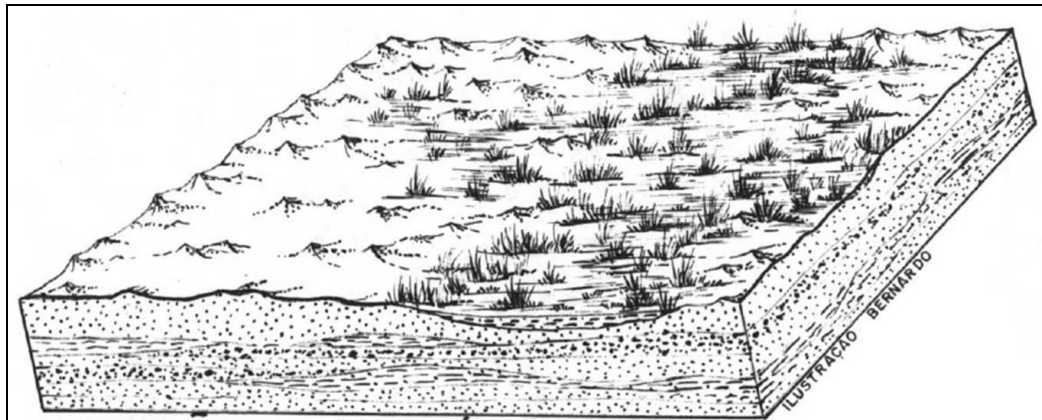


Figura 24. Esquema ilustrativo de la unidad Montículos y ondulaciones denudacionales. Se puede apreciar que no es una morfología plana sino ondulada en donde cada montículo no supera los 50 m de altura con respecto al nivel base local.



Figura 25. Panorámica SE de la unidad Montículos y ondulaciones denudacionales. Fotografía tomada desde el sector conocido como Popas en el Municipio de Rionegro.

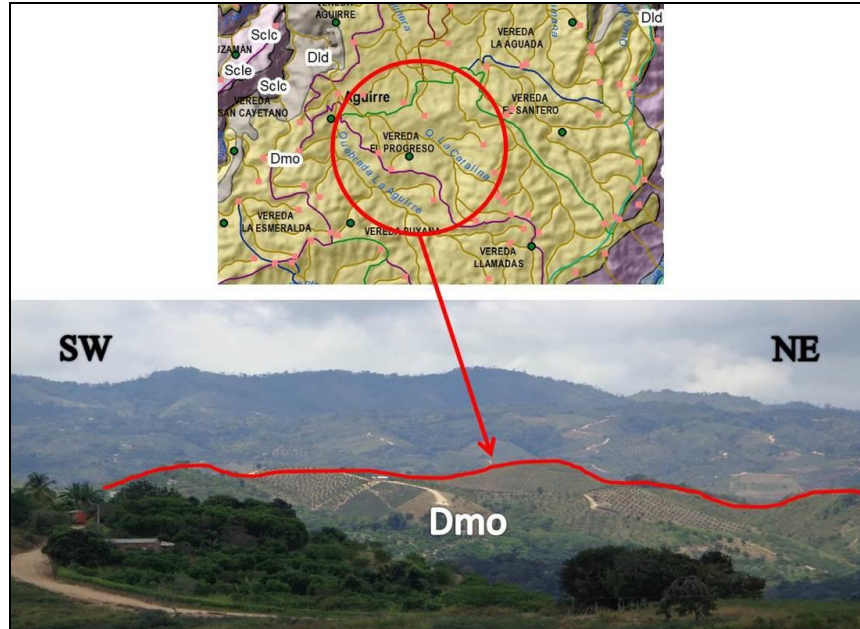


Figura 26. Panorámica NW de la unidad Montículos y ondulaciones denudacionales “Dmo”. Fotografía tomada desde la vereda El Progreso en el Municipio de Lebrija, se observa la morfología colinada. La línea roja indica límite de geoforma.

2.1.14 Planicie (Dp)

Esta geoforma se presenta como un área de terreno extensa, relativamente plana con pendientes que no superan los 5°. Los procesos denudativos han rebajado geoformas originales dejando superficies extensas casi planas.

Las expresiones más importantes de esta geoforma se pueden apreciar en el aeropuerto Palonegro de Bucaramanga, el cual fue cimentado sobre una planicie denudacional conformada por rocas sedimentarias de la Formación Girón que afloran en la vereda Carrizal del Municipio de Girón. También se puede apreciar una extensa planicie limitada por las quebradas río Sucio y Agua Buena en inmediaciones de las veredas Cerro de La Aurora y río Sucio del Municipio de Lebrija, en donde reposan rocas sedimentarias de la Formación Lisama. Allí, dicha planicie se encuentra ligeramente basculada hacia el oeste, debido a influencia tectónica de algunos lineamientos locales (Figura 27).

Por tratarse de una geoforma tan plana, no hay movimientos en masa, pero si se pueden presentar ciertos procesos de erosión surcos y en surcos muy focalizados (Figura 28). El porcentaje en área de esta unidad es de 0,26% del total de la plancha.

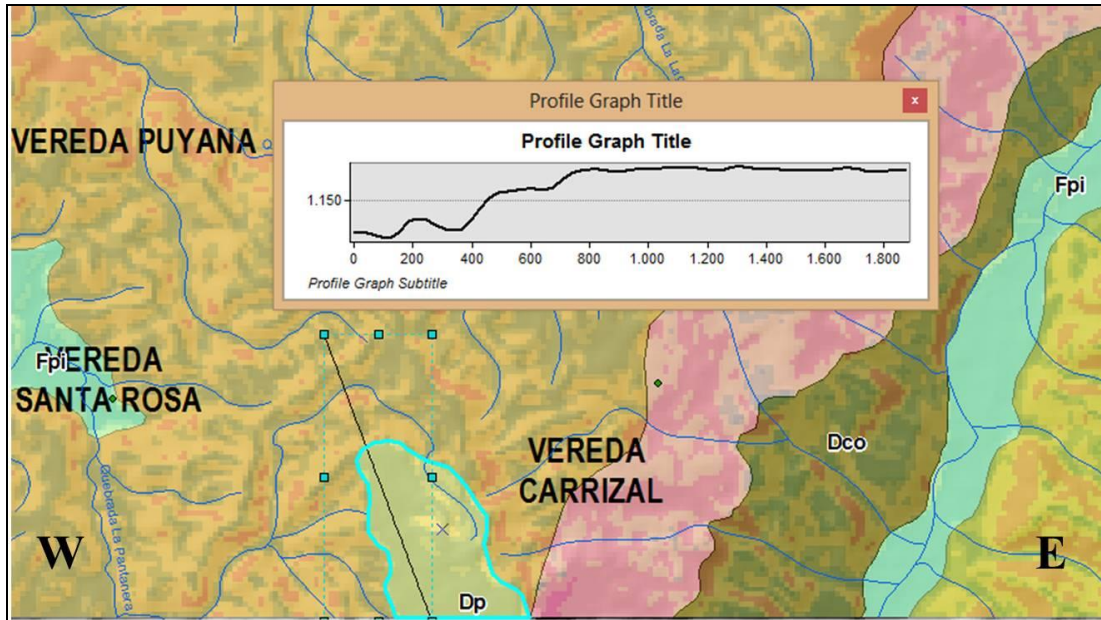


Figura 27. Aspecto de la unidad de Planicie “Dp”. Se puede apreciar el color verde con transparencia que representa la categoría de menor pendiente topográfica y en el perfil una zona muy plana que reflejan la unidad en cuestión. En este sector de la vereda Carrizal está el aeropuerto internacional Palonegro de Bucaramanga.

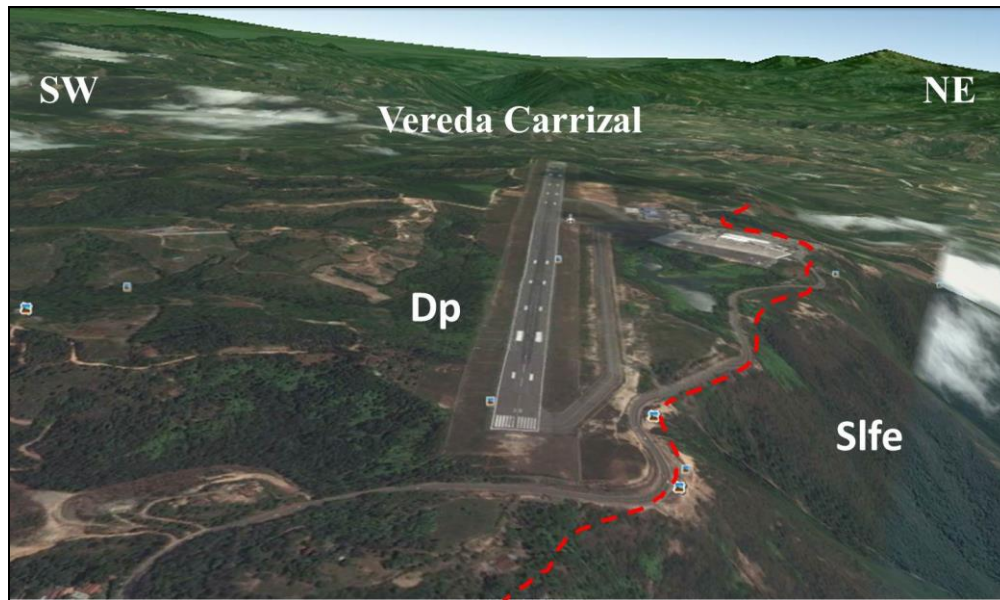


Figura 28. Imagen satelital extraída de Google Earth, en donde se aprecia la Planicie “Dp” sobre la cual se encuentra el Aeropuerto Palonegro, en la vereda Carrizal (Girón). La Planicie está limitada por el Escarpe de la Falla Suárez “Sife”. La línea punteada roja indica límite entre geoformas.

2.1.15 Planicie colinada denudada (Dpcd)

Una planicie colinada denudada, corresponde a un área de extensión considerable, de morfología ondulada a colinada, en la que predominan procesos erosivos diferenciales. Las laderas que limitan las ondulaciones, son cortas, con forma recta a cóncava, de pendiente muy inclinada a abrupta, con patrón de drenaje dendrítico.

Esta geoforma se aprecia en las veredas Payoa Cinco, Mata de Piña, Robada, Bellavista, Caño Edén, Caño frías, Payoa corazones y Ríosucio, que forman parte del Municipio de Sabana de Torres. El material predominante en esta unidad son suelos residuales de rocas sedimentarias Terciarias de las Formaciones Mesa y Real. En estos sectores la planicie colinada se caracteriza por presentar morfología ondulada, índice de relieve muy bajo, laderas cortas de pendiente abrupta, de forma cóncava a irregular. Presentan un patrón de drenaje subdendrítico, con textura gruesa, de frecuencia y densidad moderadas. El material que conforma esta unidad corresponde a rocas sedimentarias (areniscas, areniscas conglomeráticas y arcillolitas) Terciarias de las formaciones Real, Colorado y Mugrosa, con grado de meteorización moderada a alta y desarrollo de suelos residuales areno-arcillosos de espesor moderado. Se observan movimientos en masa tipo flujos de detritos y tierra. Los principales tipos de erosión son surcos y barrancos (Figura 29).

El porcentaje en área de esta unidad es de 6,04% del total de la plancha.

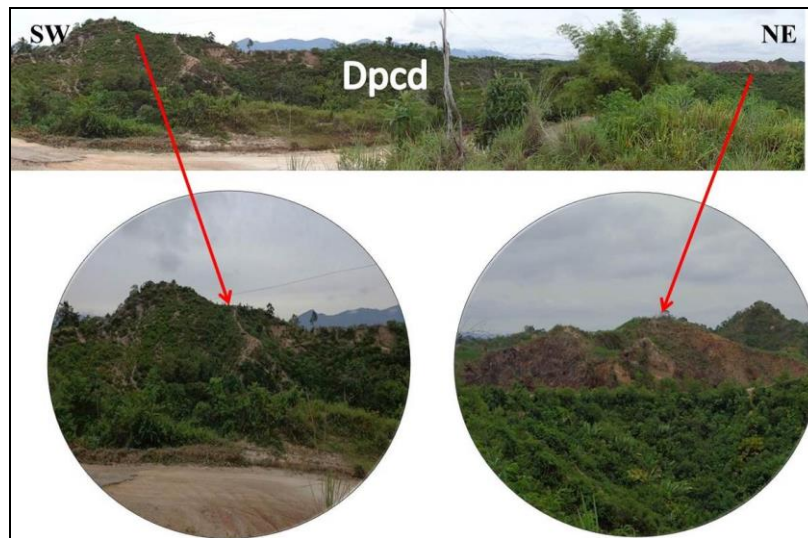


Figura 29. Panorámica NW de la unidad de Planicie Colinada Denudada “Dpcd”. Fotografía tomada en inmediaciones de la vía Sabana de Torres a Uribe Uribe.

2.1.16 Penillanura o peneplanicie (Dpn)

El porcentaje en área de esta unidad es de 6,39% del total de la plancha. Una peneplanicie está representada por una superficie de extensión regional, que se caracteriza por presentar una morfología ligeramente ondulada con colinas y lomas elongadas de altura similar. Se caracteriza por presentar una red de drenaje tipo reticular, densa. Su origen está asociado a procesos de erosión intensa y aplanamiento de una superficie que originalmente pudo ser una cordillera, serranía o altillanura, pero que debido al desgaste producto de la acción de agentes erosivos ha quedado rebajado hasta una zona relativamente llana casi plana.

Esta geoforma se encontró en el Municipio de Sabana de Torres, como dos franjas laterales en los costados este y oeste de la unidad de planicie colinada denudada. Se puede apreciar en las veredas Miraflores, Santa Helena, Cristales, Santa Ana y en el Municipio de Lebrija en la vereda Chuspas. En dichos sectores esta geoforma se aprecia como colinas y lomas largas de menos de 50 metros de altura, con índice de relieve muy bajo, limitadas por laderas cóncavas y convexas cortas, de pendiente muy inclinada, con patrón de drenaje dendrítico. Las rocas que conforman esta unidad localmente son sedimentitas de las formaciones Colorado y Real principalmente, que presentan moderado grado de meteorización y desarrollo de suelos residuales de espesores considerables. En esta unidad no se encontraron movimientos en masa y el tipo de erosión predominante es surcos (Figura 30).

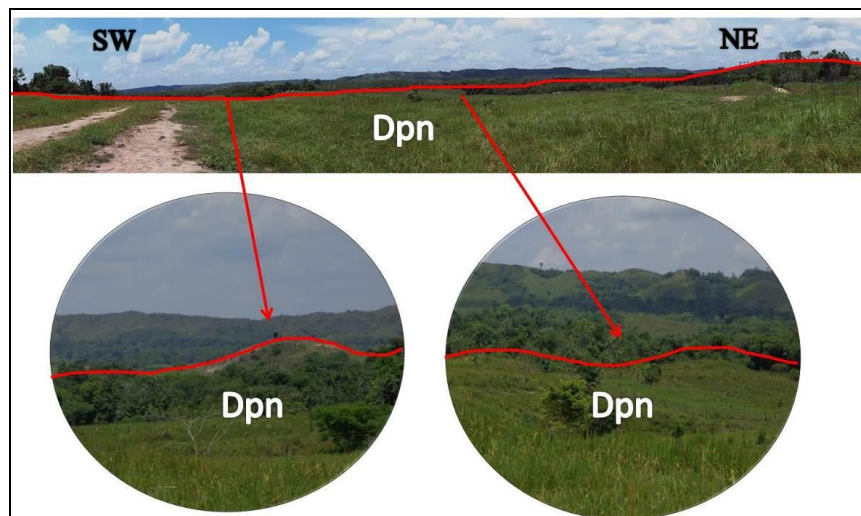


Figura 30. Panorámica NW de la unidad de Peneplanicie o Penillanura “Dpn”. Fotografía tomada en cercanías a la Escuela de la vereda Cristales, Municipio de Sabana de Torres. Las líneas rojas indican delimitación de la geoforma.

2.1.17 Sierra desnuda (Dsd)

El porcentaje en área de esta unidad es de 7,19% del total de la plancha. Esta geoforma corresponde a un conjunto de prominencias topográficas que presentan morfología montañosa y se encuentran limitadas por laderas largas a extremadamente largas, de forma cóncava a convexa, de pendiente muy inclinada a abrupta. En esta unidad predominan procesos erosivos y movimientos en masa acentuados. El origen de esta sierra se relaciona con erosión de sustrato rocoso homogéneo generalmente ígneo.

Esta unidad presenta buena expresión en los sectores de la vereda Quemado y Vegas en el Municipio de Tona, así mismo en el sector de la Cuchilla El Roble en la vereda Capacho, límites entre El Playón y Suratá, en donde se presenta como una sierra de morfología alomada, cuyas laderas tienen pendiente muy inclinada. Esta unidad suele encontrarse asociada a rocas ígneas cuarzomonzoníticas y a cuerpos metamórficos del Neis de Bucaramanga, Formación Silgará y Ortoneis, que son rocas que presenta un grado de meteorización alto y en algunos sectores, principalmente en el Playón, desarrollan suelos residuales areno-arcillosos que son muy sensibles a los cambios de humedad, por lo que la susceptibilidad a sufrir movimientos en masa aumenta con el detonante lluvias (Figura 31).



Figura 31. Panorámica NW de la unidad de Sierra desnuda. Se puede apreciar el tamaño de esta geoforma, que se extiende por centenares de metros en la región. Inmediaciones de la vía Santa Cruz de la Colina hacia la cuchilla Santa Ana. La unidad geológica corresponde a Rocas ígneas félsicas de la unidad Cuarzomonzonita Jc, que desarrolla en estos sectores suelos residuales.

2.1.18 Sierra residual (Dsr)

Una sierra residual corresponde a un grupo de elevaciones del terreno que se caracterizan por su morfología montañosa. Es frecuente encontrar laderas largas, cóncavas a convexas, de pendiente abrupta. En esta unidad se presentan fuertes procesos de meteorización sobre rocas ígneas con desarrollo de suelos residuales con espesor mayor a 3 m.

Esta geoforma se aprecia sobre suelos residuales de espesor considerable que se derivan de la Cuarzomonzonita biotítica en los sectores de la quebrada Naranjera y el Caño Tigre en el Municipio del Playón. Allí el alto grado de meteorización que presenta este cuerpo ígneo hace que sus propiedades geomecánicas de resistencia y estabilidad disminuyan, haciendo que este material sea susceptible a los movimientos en masa. En esta zona es frecuente encontrar deslizamientos de tipo rotacional y flujos de suelo acompañados de erosión en cárcavas y surcos en muchos de los afloramientos presentes en este sector.

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,91% del total de la plancha.

2.2 GEOFORMAS DE ORIGEN MORFOESTRUCTURAL

Este ambiente morfogenético es el de mayor ocurrencia en la Plancha 109-Rionegro, con un 46,55% del área total. Considerando la complejidad del contexto geodinámico en el cual se encuentra ubicado el Departamento de Santander, se encuentra que hay un predominio de geoformas de origen estructural en esta región. Desde este punto de vista, se puede hacer una subdivisión de geoformas estructurales teniendo en cuenta el tipo de deformación asociada.

En los procesos de deformación dúctil es necesario mencionar al Sinclinal de Nuevo Mundo como estructura regional que define la aparición de unidades geomorfológicas propias de este tipo de deformación, las cuales predominan hacia la franja occidental de la plancha. Dentro de este tipo de geoformas se identificaron laderas estructurales y de contrapendiente, así como barras estructurales asociadas a los flancos de los sinclinales de Nuevo Mundo, Vanegas y a los anticlinales de Las Monas, Vanegas, Río Sucio y Provincia. Así mismo, aquellas laderas que se encuentran asociadas a estructuras homoclinales y cuestas que surgen de procesos de basculamiento y fallamiento en los flancos de pliegues mayores.

En cuanto a estructuras de deformación frágil encontramos las fallas de Bucaramanga, Suratá, Charta, Tona, Suárez, Sardina, Cachirí, Lebrija, Provincia y toda la red de lineamientos que se forman a partir de éstas, cuya actividad da lugar a un alto grado de fracturamiento en las rocas aledañas a dichas fallas, propiciando problemas de inestabilidad en los materiales y aumentando su sensibilidad a movimientos en masa. La dinámica de estas estructuras a lo largo del tiempo geológico ha dejado vestigios en el relieve que se traducen en geoformas como facetas triangulares, los diferentes tipos de lomos de falla, las variedades de espolones y ganchos, así como valles confinados.

2.2.1 Cuesta (Sc)

Esta unidad se presenta como una sierra asimétrica formada por una ladera estructural amplia y una ladera de contrapendiente corta escarpada. Es frecuente la morfología alomada, definida por el basculamiento suave de rocas resistentes y blandas debido al fallamiento perpendicular al buzamiento de estratos sedimentarios plegados.

Esta geoforma se extiende como una franja casi N-S desde las veredas El Centenario, El Conchal, Chinigua hasta el corregimiento de Vanegas en el Municipio de Lebrija. En este sitio, se observa una sierra alargada definida por una ladera estructural de pendiente suavemente inclinada, de longitud muy larga, de forma regular relativamente recta. Esta unidad se encuentra asociada a rocas sedimentarias Cretácicas de la Formación Umir que forma parte del flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo. Estas rocas presentan un grado de meteorización débil a moderado y desarrollan suelos residuales arcillo-limosos de poco espesor. No se observaron movimientos en masa en esta geoforma y tampoco había procesos de erosión intensos, esto debido a que hay buena cobertura vegetal con predominio de matorrales y bosque (Figura 32).

El porcentaje en área de esta unidad es de 1,72% del total de la plancha.

2.2.2 Espinazo (Se)

La expresión de esta geoforma se caracteriza por presentar sierras elongadas de crestas agudas, de morfología alomada, definida por intercalación de capas sedimentarias de diferente competencia, las cuales se disponen a manera de laderas estructurales con forma de chevrones. El origen de esta unidad obedece a procesos de meteorización y erosión diferencial sobre rocas sedimentarias duras y blandas.

Esta unidad geomorfológica se encuentra en diferentes veredas del Municipio de Lebrija, como: vereda Río Sucio en el Cerro de Los Amores, vereda El Cristal, vereda El Tesoro en el cerro de la Paz y vereda Montevideo en el cerro Angosturas. En estos sectores se observa un conjunto de cerros alineados y elongados con estratos a favor de la pendiente, labrados a manera de chevrones, que son el rasgo típico de este tipo de geoforma. Estas laderas se caracterizan por su forma recta, con incisiones cortas, escarpadas, con forma de escalones, que se producen debido a la acción de la erosión diferencial en rocas sedimentarias de las formaciones La Paz y Esmeraldas, que en este sector, forman parte del flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo y buzan al oeste con ángulos entre 40° – 50° (Figura 33).

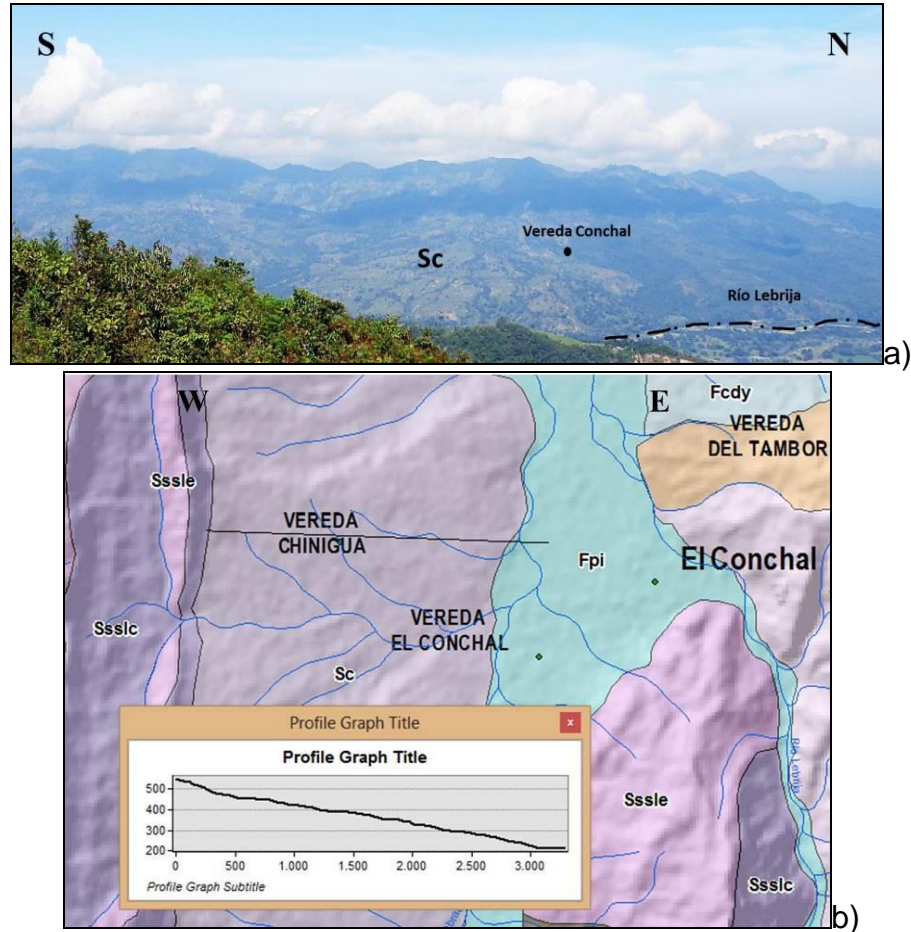


Figura 32. (a) Panorámica W de la Cuesta estructural “Sc” de la vereda el Conchal, Municipio de Lebrija. (b) Perfil topográfico de la unidad Cuesta estructural. Se aprecia la suave inclinación y la extensa longitud de la ladera que la conforma.

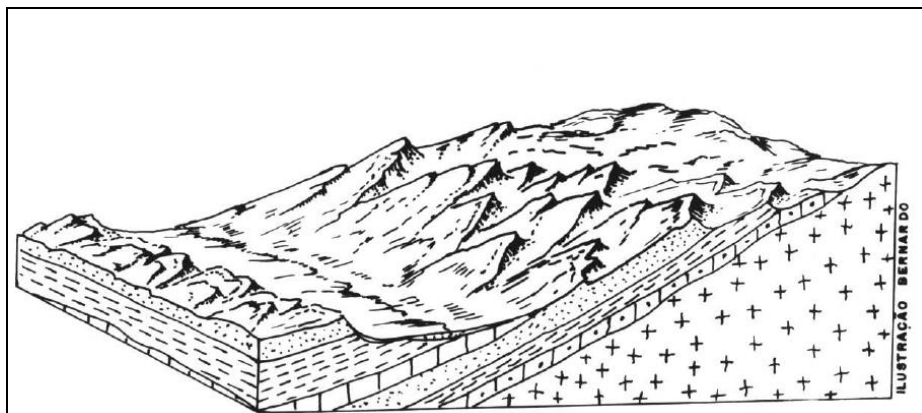


Figura 33. Esquema ilustrativo de la unidad de Espinazo estructural “Se”. Tomado y adaptado de Almeida, B. *et al* (1995).

La mejor expresión de esta unidad geomorfológica se presenta en el límite oriental y occidental de las veredas San Silvestre y Río Sucio del Municipio de Lebrija. Allí se aprecia una franja delgada conformada por un conjunto de laderas con forma triangular escalonadas que se extiende desde el sur en la vereda Río Sucio hacia el norte, hasta la vereda El Tesoro (Lebrija), con una extensión aproximada de 15 Km. En este sector, el espinazo se caracteriza por presentar laderas de forma recta, cortas a moderadamente largas, de pendiente escarpada, de morfología dentada con la punta hacia arriba. El espinazo conforma una cadena de prominencias topográficas de tendencia NNE, con índice de relieve moderado, que representan un dominio estructural en esta zona, el cual es ejercido por el flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo (Figura 34).



Figura 34. Panorámica W de la unidad de Espinazo “Se” Imagen geomorfológica de dicha unidad, en inmediaciones del sector Uribe Uribe, Municipio de Lebrija. Fotografía tomada desde un avión en vuelo comercial. La línea roja indica el límite entre geofomas.

La buena cobertura vegetal de la zona con matorrales y bosques, es un elemento que favorece la escasa ocurrencia de movimientos en masa, se presentan caídos de roca en algunos sectores donde la pendiente es muy escarpada, pero dichos movimientos no tenían acceso para ser registrados. Como proceso de erosión predominante se tiene erosión surcos. También se aprecia una intensa disección por corrientes superficiales entre una ladera y otra (Figura 35).

El porcentaje en área de esta unidad es de 1,69% del total de la plancha.

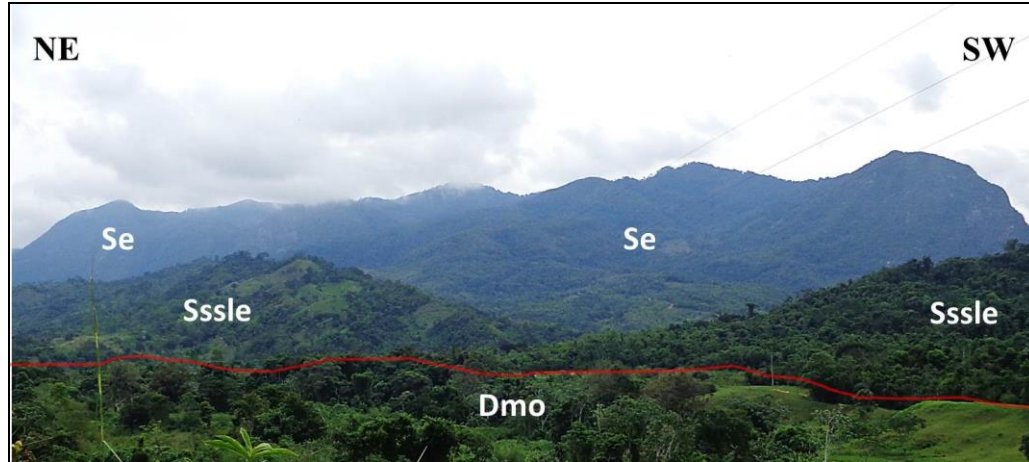


Figura 35. Panorámica SE de la unidad de Espinazo “Se”. Fotografía tomada en inmediaciones del sector de Uribe Uribe, del Municipio de Lebrija. Se aprecia la homogeneidad de esta geoforma, formando una cadena de laderas estructurales de forma triangular asociadas al flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo. También, otras unidades estructurales “Sssle” y denudativas “Dmo”. La línea roja indica el límite entre geoformas.

2.2.3 Espolón faceteado (Sefc)

Un espolón faceteado es una prominencia natural dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural de la región, producto de fallamiento inverso y erosión diferencial sobre rocas de distinta competencia. En esta geoforma se desarrollan truncamientos a manera de facetas triangulares. Esta unidad se caracteriza por su morfología alomada a colinada limitada por laderas de pendiente inclinada a abrupta, con patrón de drenaje paralelo a sub-paralelo. En conjunto, esta unidad puede desarrollar sierras colinadas que se desprenden de estructuras mayores asociadas a plegamiento y fallamiento.

Los principales sectores en los cuales se encontró esta geoforma, son las veredas La Esmeralda y El Aburrido del Municipio de Bucaramanga. También se observó en las veredas Golondrinas, Guarumales y Caragua del Municipio de Tona. En estos sectores afloran rocas de basamento correspondientes al Neis de Bucaramanga, Formación Silgará y Cuarzomonzonita. En muchas localidades donde se encuentra esta geoforma, ocurren movimientos en masa de tipo flujos de suelo. El tipo de erosión predominante son las terracetas o patas de vaca.

El porcentaje en área de esta unidad es de 3,25% del total de la plancha.

2.2.4 Espolón festoneado (Sefes)

Corresponde a laderas que presentan crestas simétricas con morfología alomada y cimas agudas, las cuales se disponen perpendicularmente al rumbo de estructuras geológicas. Esta unidad presenta pendientes que varían entre muy inclinada a muy abrupta y se presenta sobre laderas con intensa disección compuestas por rocas duras y blandas.

Sobre la vía que conduce hacia el sitio La Playa en donde se encuentra el desvío para Charta y Matanza, se puede observar en la margen izquierda de la vía durante todo el trayecto, un conjunto de salientes topográficas con cimas redondeadas y a veces agudas que se ubican de manera casi perpendicular a la Falla de Suratá y que debido a la disección fluvial, dan lugar a una red de drenaje sub-paralelo a paralelo. Dichas estructuras corresponden a espolones festoneados. En este sector dicha geoforma presenta una densidad baja-moderada de movimientos en masa, con cinco procesos morfodinámicos activos, que tienen lugar en las veredas La Capilla (Bucaramanga) y en la parte baja de las veredas Venadillo y Palmar, Municipio de Matanza (Figura 36). Dichos movimientos corresponden a deslizamientos traslacionales, caídos de rocas y avalanchas de rocas cuyas dimensiones no superan los 80 m de alto y 100 m de ancho.



Figura 36. Panorámica W de la unidad de Espolones festoneados “Sefes” asociados al trazo principal de la Falla Suratá. Esta unidad se presenta sobre rocas ígneas y metamórficas que conforman el Macizo de Santander. Fotografía tomada en inmediaciones de la vía que conduce hacia la vereda Pirita (Charta). La línea punteada roja indica el trazo de la falla.

A pesar de que la baja densidad de movimientos en masa en estado activo presentes en esta geoforma, el fuerte control estructural que ejerce la Falla de Suratá en esta zona, sumado a la presencia de suelos residuales de espesores moderados derivados de cuerpos de roca metamórficos como neises y esquistos intruidos esporádicamente por plutones cuarzomonzoníticos altamente meteorizados, convierten a este sector en un área de especial atención en cuanto a susceptibilidad por movimientos en masa.



Figura 37. Panorámica SW de la unidad de Espolones festoneados “Sefes”. Imagen satelital extraída de Google Earth. Se observa la disposición de los espolones, cuasi-perpendicular a la Falla de Tona. La línea punteada roja indica el trazo de la falla.

En la Figura 37 se puede apreciar que los espolones festoneados también tienen una buena expresión en las veredas El Pedregal y El Gualilo del Municipio de Bucaramanga. Allí se observan sierras simétricas elongadas de crestas agudas, que se ubican perpendicularmente a la Falla de Tona y presentan localmente procesos de erosión surcos y movimientos en masa de tipo flujos de detritos. El material predominante en esta geoforma son cuerpos metamórficos del Neis de Bucaramanga con esporádicas intrusiones ígneas cuarzomonzónicas, los cuales se encuentran altamente meteorizados y desarrollan suelos residuales susceptibles a movimientos en masa. Así mismo, un trazo asociado a la Falla del río Tona, es el encargado de ejercer el control estructural en este sector.

La densidad de movimientos en masa en dicha área, es muy baja, pues sólo se observaron dos procesos de tipo deslizamiento traslacional que se presentan en la vereda Caragua (Tona) y fueron registrados en el inventario Simma.

El porcentaje en área de esta unidad es de 4,96% del total de la plancha.

2.2.5 Espolón estructural (Ses)

Esta unidad se aprecia como una prominencia topográfica de morfología alomada, elongada, dispuesta perpendicularmente al rumbo de una estructura principal en la zona. Se encuentra limitada por laderas festoneadas de longitudes cortas a muy cortas, de pendientes que varían de abruptas a

inclinadas debido a procesos denudativos. Esta geoforma se origina debido a la alternancia de capas competentes y no competentes, con predominio de éstas últimas, que se disponen perpendicularmente a la estructura mayor.

En los municipios de Rionegro, El Playón, Matanza y Bucaramanga se observa una distribución relativamente homogénea de esta geoforma, la cual se aprecia como conjuntos de lomas alargadas de extensión moderada a corta, limitadas por laderas cortas a moderadamente largas, de forma convexa, de pendiente abrupta, con patrón de drenaje sub-paralelo. Esta expresión geomorfológica está asociada y se dispone perpendicularmente al trazo de estructuras importantes como la Falla de Bucaramanga, Falla de Rionegro y numerosos lineamientos y falla satélites con tendencia general NNE y NE.

En el Municipio de Rionegro se puede apreciar espolones estructurales en las veredas La Ceiba, Espuma Alta, Silgará, Misijuay, Aguablanca y Portachuelo, en donde se encuentra asociada a rocas ígneas de la unidad Cuarzomonzonita que se encuentra controlada por el sistema de falla satélites y lineamientos ya mencionado.

En el Municipio del Playón, se observó esta unidad en la vereda El Filo, allí se encontró que el material que conforma a los espolones, corresponde a rocas metamórficas Pre-devónicas (esquistos y filitas) de la Formación Silgará. Tanto en Rionegro como en El Playón, esta geoforma presenta movimientos en masa de tipo flujos de tierra y deslizamientos rotacionales. Los principales procesos de erosión, son terracetos y algunos surcos.

En el Municipio de Bucaramanga también se aprecian espolones en las veredas del límite norte del Municipio como es el caso de la vereda Galanes. En estos sectores, se encuentra como sierras de corta extensión, dispuestas perpendicularmente a la Falla de Bucaramanga.

Así mismo desde la Cuchilla de Santana en el corregimiento de Santa Cruz (Municipio de Matanza), se observan geoformas de espolones que se encuentran ligeramente festoneados y se ubican perpendicularmente a un lineamiento estructural que controla la quebrada Agua Fría (Figura 38).

El porcentaje en área de esta unidad es de 4,84% del total de la plancha.



Figura 38. Panorámica S de la unidad de Espolones estructurales “Ses”. Fotografía tomada en inmediaciones de la vía que comunica al corregimiento de Santa Cruz con la Cuchilla de Santana, Municipio de Matanza. Se observa la morfología alomada y la disposición perpendicular de los espolones ante el trazo del lineamiento de la quebrada Agua Fria. La línea punteada roja indica el trazo de la falla.

2.2.6 Faceta triangular (Sft)

En zonas de falla se puede producir truncamiento y desplazamiento de relieves estructurales o de interfluvios con posteriores procesos de erosión diferencial. Este tipo de eventos da lugar a la Formación de planos sub-verticales abruptos, relativamente rectos, cuya geometría en planta es triangular a trapezoidal (base amplia y techo angosto), que se conocen geomorfológicamente con el nombre de facetas triangulares.

En cercanías a la zona de confluencia del río Charta con el Suratá, donde inicia la Falla de Charta en la vereda Las Abejas, se pueden observar algunas facetas triangulares asociadas a dicha estructura. Así mismo, en las veredas Valparaíso y La Colorada del Municipio de Rionegro, se presenta un lineamiento local con rumbo NE asociado a la Falla de Bucaramanga que afecta a rocas ígneas intrusivas de la Granodiorita Biotítica. Aunque no se encontraron movimientos en masa ni procesos erosivos acentuados, esta geoforma por encontrarse en zonas de influencia directa de fallas geológicas es susceptible a movimientos en masa, por lo cual la amenaza está latente.

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,14% del total de la plancha.

2.2.7 Gancho de flexión (Sgf)

Prominencia topográfica que se presenta a manera de saliente estructural alomada. En vista de planta presenta geometría en forma de gancho. El origen de esta geoforma está relacionado con el efecto combinado de desplazamiento lateral de una falla de rumbo y posteriores procesos de incisión erosiva. La curvatura del gancho sigue la dirección del desplazamiento de la falla de rumbo.

Esta geoforma suele estar asociada a rocas de basamento del Neis de Bucaramanga y la Formación Silgará y a rocas sedimentarias de la Formación Bocas. Se puede apreciar sobre el trazo de Fallas regionales como la de

Bucaramanga, Suratá y Tona, en zona rural de los municipios de Rionegro, Bucaramanga y Tona (Figura 39 y Figura 40). Aunque esta geoforma no presenta movimientos en masa, si se evidencian procesos erosivos de carcavamiento sobre suelos residuales derivados de dichas unidades cristalinas.

El porcentaje en área de esta unidad es de 1,62% del total de la plancha.

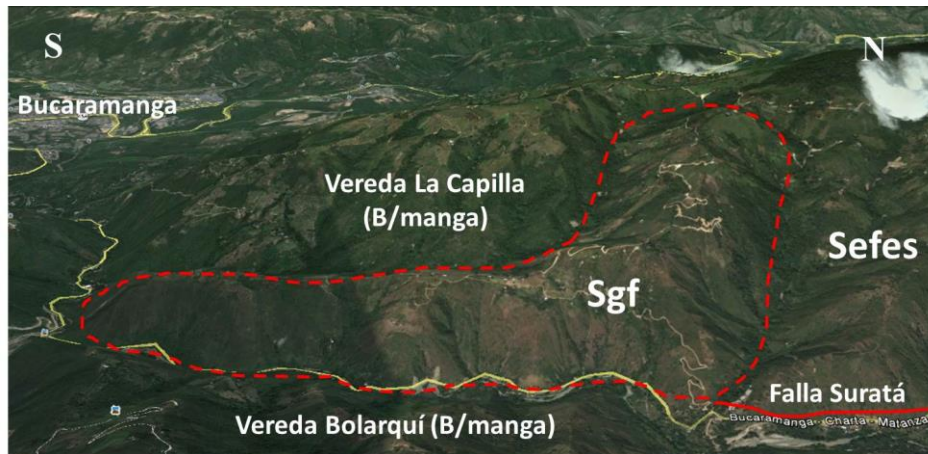


Figura 39. Vista panorámica al W mediante Google Earth, de un gancho de flexión de grandes dimensiones asociado al trazo de la Falla Suratá. Vereda La Capilla (Bucaramanga). La línea punteada roja indica el trazo de la falla.

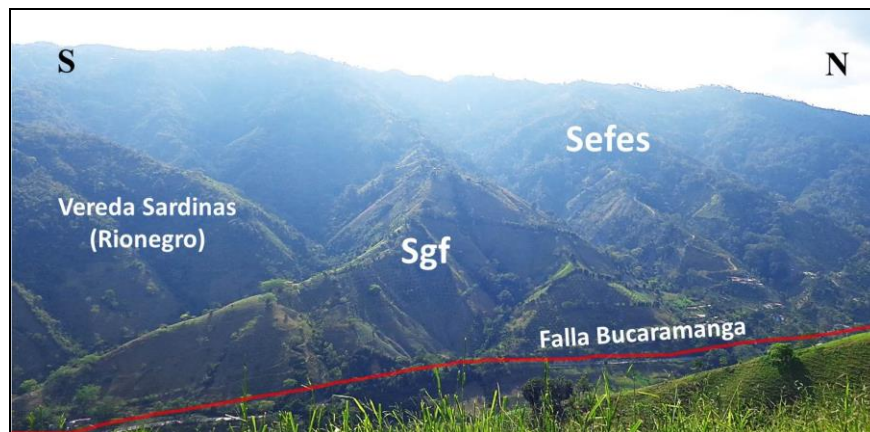


Figura 40. Panorámica W de la unidad de gancho de flexión. Se aprecia la curvatura del gancho está hacia la izquierda del observador, lo cual refleja el comportamiento sinistral de la Falla de Bucaramanga. Vereda Sardinias, Municipio de Rionegro.

2.2.8 Ladera de contrapendiente (Slcp)

Corresponde a laderas de morfología regular, definida por planos de diaclasamiento dispuesto en sentido contrario a la inclinación natural del

terreno. Por lo general este tipo de ladera es más corta con pendientes muy inclinadas a muy escarpadas. En este caso, no hay asociación directa de la ladera a ninguna estructura regional.

Sobre la vía que conduce hacia el corregimiento El Filo del Municipio del Playón, se puede encontrar rocas ígneas cuarzomonzoníticas con moderado grado de fracturamiento que da lugar a patrones de diaclasamiento definidos, sobre los cuales se desarrollan capas de suelo residual areno-arcilloso de color crema. Uno de estos patrones de diaclasamiento se encuentra buzando en contra de la inclinación topográfica por lo cual se constituye en una ladera de contrapendiente que se caracteriza por ser relativamente corta con pendiente abrupta a escarpada y con presencia de movimientos en masa de tipo flujos y deslizamientos traslaciones de suelo. Cabe destacar los fuertes procesos de carcavamiento en dicha ladera, en donde algunos tramos de la vía se ven seriamente afectados por grandes cárcavas que amenazan con destruir la vía.

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,20% del total de la plancha.

2.2.9 Ladera estructural (Sle)

Corresponde a una superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos de diaclasamiento dispuestos en la misma dirección de la pendiente topográfica. Este tipo de ladera suele ser de longitud moderadamente larga con pendientes muy inclinadas a abruptas. Esta geoforma tampoco se encuentra asociada a ningún tipo de estructura regional.

En los sectores de Las Rocas y San Ignacio sobre la vía que conduce hacia el corregimiento de El Filo en El Playón, se extiende una ladera asociada a planos de diaclasamiento en cuarzomonzonitas que se disponen a favor de la pendiente del terreno. En esta zona, el cuerpo ígneo se encuentra altamente meteorizado y desarrolla suelos residuales relativamente espesos que han sido afectados por carcavamiento y movimientos en masa de tipo flujos de tierra que no superan los 150 m de longitud y 70 m de ancho.

El porcentaje en área de esta unidad es de 0,35% del total de la plancha.

2.2.10 Lomo de falla (Slf)

Saliente topográfica de morfología alomada, limitada por laderas cortas, de forma convexa y pendiente abrupta. Esta geoforma se localiza a lo largo de una falla de rumbo y su origen se da gracias al efecto del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que da lugar a la expulsión de un bloque de terreno. En el área de estudio esta geoforma tiene importantes expresiones a lo largo del trazo principal de la Falla de Bucaramanga, en los sectores de las veredas Espuma Baja y Alto Bello (Rionegro) y en La Ceiba (El Playón), en

donde el alto grado de meteorización del cuerpo intrusivo de Cuarzomonzonita y su suelo residual areno-arcilloso dan lugar fuertes procesos de erosión en cárcavas y a deslizamientos traslacionales y flujos de suelo que pueden alcanzar los 100 m de longitud total y los 70 m de ancho con concentraciones relativamente altas por toda esta zona.

Así mismo en las veredas Jaboncillo (Matanza) aparece un lomo asociado a la Falla Suratá y en la vereda Arnania (Tona) se presenta un lomo sobre el trazo de la Falla del Río Tona. En estos sectores no se observan movimientos en masa ni procesos erosivos fuertes sobre los (Figura 41).

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,49% del total de la plancha.

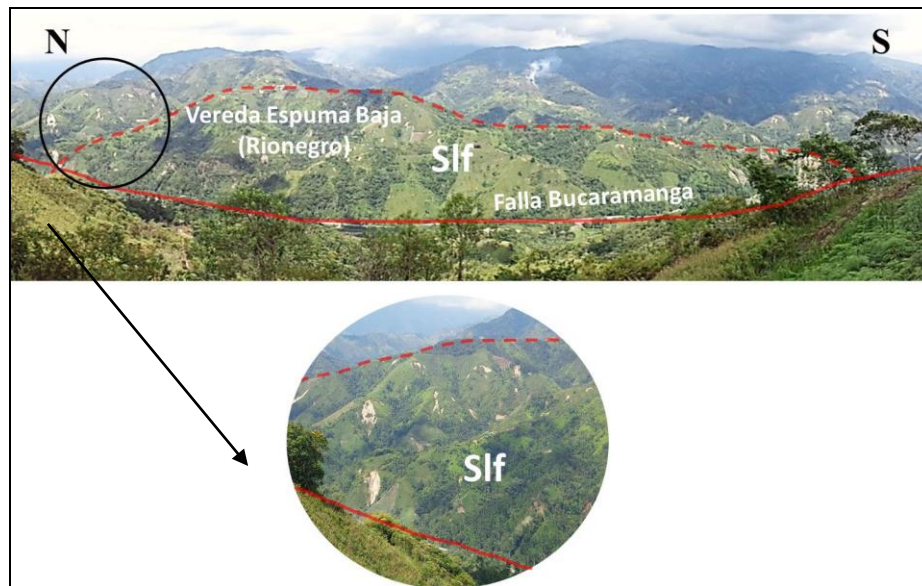


Figura 41. Panorámica E de uno de los Lomos de Falla asociados al trazo principal de la Falla de Bucaramanga. Se puede apreciar en la fotografía que hay una alta concentración de movimientos en masa de tipo flujos de tierra sobre esta geoforma. Vereda Espuma Baja, Municipio de Rionegro. La línea punteada indica límite de la geoforma.

2.2.11 Escarpe de línea de falla (Slfe)

El porcentaje en área de esta geoforma es de 1,47% del total de la plancha. Un escarpe de línea de falla es reconocido como una franja de pendiente abrupta a muy escarpada, de longitud corta a muy corta, de forma convexa, resultante del desplazamiento vertical u horizontal de bloques fallados o de la exhumación del plano de falla anteriormente truncado por la erosión (Figura 42).

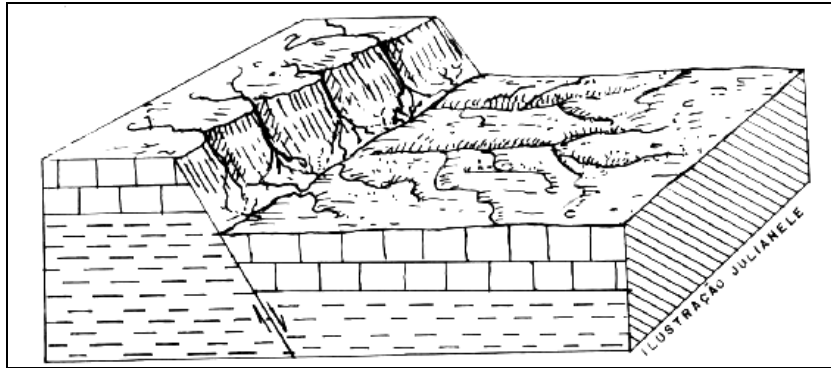


Figura 42. Esquema descriptivo de un Escarpe de línea de falla. Tomado y adaptado de Almeida, B. *et al* (1995).

Esta geoforma tiene buena expresión en los municipios aledaños al trazo principal de la Falla de Bucaramanga, donde se presenta una red de lineamientos y fallas satélites que dan lugar a la Formación de escarpes de longitud corta pero de extensión moderada a larga.

En el Municipio de Rionegro se encuentran escarpes sobre ambos bloques de la Falla de Bucaramanga. En el bloque Occidental hay una franja de 27 Km de escarpe que se extiende desde las veredas Calichana, Alto Bello, La Ceiba, Sardinas y San Pablo hasta llegar a la vereda Alto de Paja., por lo cual se convierte en el de mayor extensión en la Plancha 109-Rionegro. En el bloque oriental de la falla de Bucaramanga, se encuentra otro de los escarpes de mayor extensión en esta área, el cual abarca desde el corregimiento La Ceiba, siguiendo el lineamiento que controla el cauce de la quebrada Silgará, hasta terminar en la vereda El Filo, del Municipio del Playón. Presenta una tendencia NE, con una extensión aproximada de 12,6 Km.

El trazo de la Falla del Suárez da lugar a un escarpe asociado con depósitos de terraza aluvial del río de Oro en la parte baja, que se puede observar desde las partes altas del casco urbano de Bucaramanga. Sobre el bloque levantado, se encuentra el Municipio de Lebrija y las instalaciones del aeropuerto Palonegro (Figura 43).

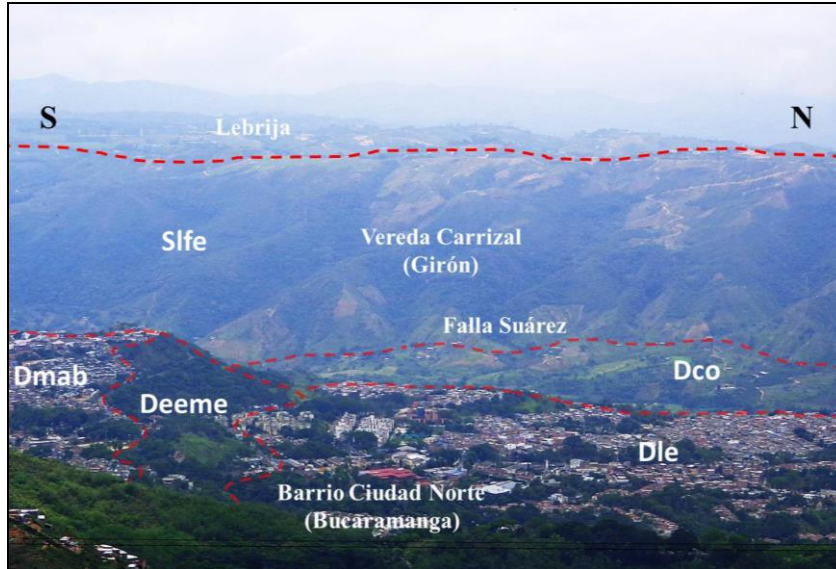


Figura 43. Panorámica W de la unidad de Escarpe de Línea de Falla “Sife”. Fotografía tomada desde la vereda La Malaña (Bucaramanga). Se observa el trazo principal de la Falla Suárez y una franja de depósitos coluviales “Dco”, en el pie del escarpe, asociados a la erosión del bloque exhumado por la falla. También, otras unidades denudativas asociadas al abanico de Bucaramanga, como mesa de abanico, escarpe erosivo menor y ladera erosiva. La línea punteada roja indica límite de geoforma.

Los escarpes de línea de Falla que se encuentran en la Plancha 109 ocurren sobre rocas de basamento como el Neis de Bucaramanga (Pcab), esquistos de la Formación Silgará (pDs) y cuerpos intrusivos como la Cuarzomonzonita (Jc), Cuarzomonzonita de la Corcova (JTRcl) y la Granodiorita (Jgd). En muchos sectores, se desarrollan suelos residuales de esta formaciones, siendo los más espesos los de cuerpos intrusivos cuarzomonzoníticos y los derivados de esquistos de la Formación Silgará. Se observa una densidad moderada de movimientos en masa de tipo deslizamiento rotacional, traslacional y flujos de tierra de dimensiones considerables, principalmente en el Municipio de Rionegro. Los principales tipos de erosión son patas de vaca, surcos y cárcavas. Cabe anotar, que en algunos casos, los escarpes de línea de falla están asociados con depósitos coluviales producto de la exhumación de uno de los bloques de roca, el cual queda expuesto a la meteorización y erosión, dando lugar a conos y lóbulos coluviales de soliflucción Dco.

2.2.12 Lomo de obturación (Slo)

Esta unidad se forma cuando una falla de rumbo ocasiona el desplazamiento lateral de un bloque rocoso, el cual da lugar a una prominencia del terreno de morfología alomada, generando el bloqueo parcial así como el desvío de un cauce fluvial.

En cercanías al sitio La Playa, en la vereda El Tanque (Matanza) se observó una prominencia topográfica que fue desplazada lateralmente por la Falla de Suratá y que produjo el desvío local del cauce fluvial del río Suratá. Dicha geoforma se aprecia como una loma de cima aguda aproximadamente paralela al trazo de la Falla, con laderas convexas, poco disectadas, con una red de drenaje poco densa y sin presencia de movimientos en masa. En este sector, la Falla de Suratá pone en contacto a esquistos de la Formación Silgará con rocas sedimentarias de la Formación Girón, éstas últimas conforman el Lomo de Obturación (Figura 44).

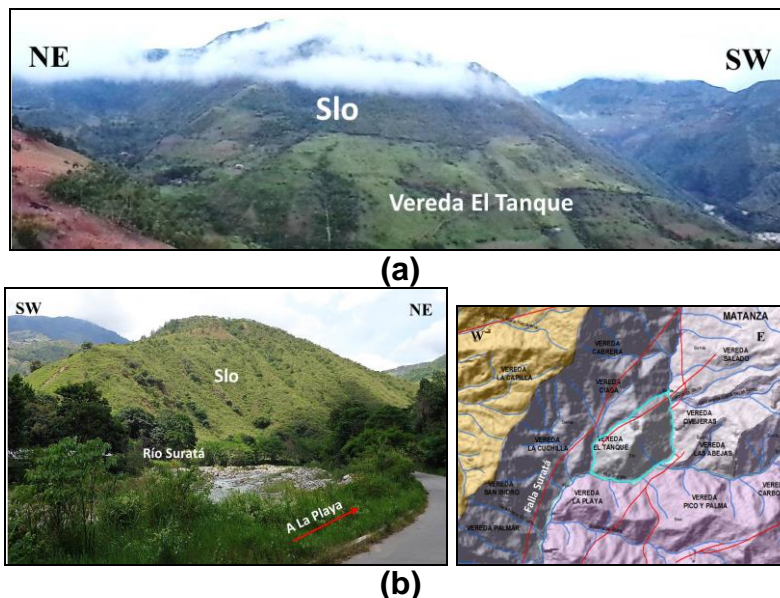


Figura 44. (a) Panorámica SE de la unidad Lomo de Obturación “Slo”. Fotografía tomada desde la vereda La Cuchilla (Matanza). (b) Panorámica NW de la misma unidad. Se observa una prominencia de morfología alomada con poca disección y ausencia de movimientos en masa. Fotografía tomada desde la vía hacia La Playa. Se presenta un fragmento del mapa morfogenético con la unidad Slo resaltada en Cian. Nótese el desvío del cauce del río Suratá, el cual rodea a la geoforma para seguir su curso con dirección SW.

Otras geoformas de este tipo y con similares características se observan en la vereda Arnania (Tona), en donde se produce un cambio de curso de la quebrada Vegas del Quemado en la zona de confluencia con el río Tona. Así mismo hay un Lomo de obturación de grandes dimensiones asociado al trazo de la Falla Bucaramanga, en la vereda La Sabana, sector del Frigorífico Vijagual (Bucaramanga). Allí se produce una desviación del cauce del río Negro, en la zona de confluencia con el río Lebrija.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,58% del total de la plancha.

2.2.13 Meseta estructural (Sm)

Geoforma de cima relativamente plana a ondulada limitada por escarpes abruptos, de longitud corta de forma convexa. Esta unidad se forma gracias a procesos de erosión diferencial en unidades estratificadas con bajo ángulo de buzamiento (menor a 5°). Puede asociarse a ambientes en los cuales hay procesos coluviales que fueron estabilizados naturalmente (Figura 45).

En el área de estudio, esta geoforma se presenta en la vereda Galápagos de Rionegro, la cual se encuentra sobre una zona relativamente plana a ondulada limitada por laderas escarpadas con depósitos coluviales antiguos hacia la base. En esta meseta estructural se ha desarrollado una pequeña laguna denominada “El León Dormido de América” que probablemente se asocie a procesos tectónicos. En esta zona no se observaron movimientos en masa, pero hay procesos de erosión surcos y terracetos.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,23% del total de la plancha.

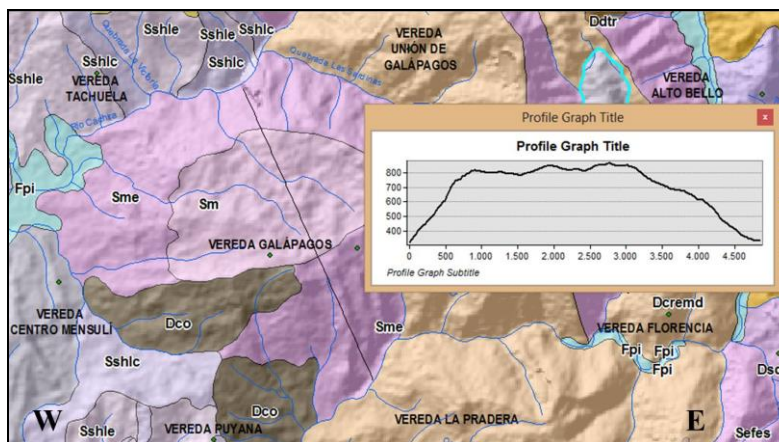


Figura 45. Perfil topográfico de la Meseta estructural “Sm” de la vereda Galápagos, Municipio de Rionegro. Se observa la parte plana limitada por laderas escarpadas.

2.2.14 Escarpe de meseta estructural (Sme)

En la Figura 45, se puede apreciar que la meseta estructural se encuentra limitada por superficies escarpadas de longitud moderada a corta, que constituyen los escarpes de dicha meseta. El origen de estos escarpes, se da por disposición casi horizontal de unidades sedimentarias con diferente resistencia, que han sido sometidas a procesos de erosión diferencial y disección de drenajes. Aunque en dichas laderas no hay movimientos en masa recientes, si se encontró depósitos coluviales antiguos en los sectores aledaños a la Hacienda Tairona sobre la quebrada El Centenario, en inmediaciones de la vía que comunica a Galápagos con Centro de Menzulí. Estos depósitos de coluvión probablemente puedan indicar que la meseta estructural en cuestión

puede corresponder a un gran movimiento en masa muy antiguo que se estabilizó (Figura 46).



Figura 46. Panorámica E de la vía Galápagos-Centro Menzulí, en donde se observa un depósito coluvial antiguo sobre el Escarpe de meseta encontrado en el sector de Galápagos.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,49% del total de la plancha.

2.2.15 Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal (Ssalc)

Superficie inclinada, de longitudes cortas y de forma irregular. Esta geoforma se asocia a la zona de charnela de una sierra anticlinal que debido a procesos de erosión, meteorización o tectonismo ha sido cortada y moldeada, dejando expuestos los estratos con disposición en contra de la pendiente natural de terreno.

Esta unidad se puede apreciar en las veredas Cristales y Payoa (Sabana de Torres), asociada a flancos erosionados del anticlinal de Las Monas. En estos sectores, este tipo de ladera se caracteriza por ser muy corta y de pendiente escarpada, sin movimientos en masa y con buena cobertura vegetal de matorrales y bosques (Figura 47).



Figura 47. Panorámica N de una Ladera de contrapendiente “Ssalc” del Anticlinal de Las Monas. Se caracteriza por su longitud corta, pendiente escarpada y buena cobertura vegetal. Vereda Cristales, Municipio de Sabana de Torres.

Así mismo, en los sectores donde la quebrada Gerias y el río Cáchira desembocan en el río Lebrija y sobre el Corregimiento de Vanegas, se pueden encontrar laderas de contrapendiente asociadas al Flanco Occidental erosionado del Anticlinal de Vanegas.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,76% del total de la plancha.

2.2.16 Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale)

Una ladera estructural de sierra anticlinal, corresponde a una ladera de longitud corta, de forma convexa a recta, de pendiente inclinada a muy abrupta, con patrón de drenaje sub-paralelo y con estratos en favor de la pendiente. En general está constituida de rocas intermedias a duras generalmente sedimentarias.

Mediante fotointerpretación se logró identificar esta geoforma en donde los flancos de los anticlinales de Vanegas y Las Monas quedaban expuestos, dejando como evidencia este tipo de laderas. Es el caso de las veredas Cristales, Payoa y Aguas Claras de Sabana de Torres en donde las litologías presentes corresponden a la secuencia Paleógena desde la Formación Lisama hasta la Formación Mesa, así como en sectores circundantes al corregimiento de Vanegas en el Municipio de Lebrija, en donde las rocas que predominan corresponden a la secuencia Cretácica desde la Formación Tambor hasta la Formación Umir.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 1,23% del total de la plancha.

2.2.17 Sierra anticlinal (Ssan)

Esta geoforma se puede observar como una prominencia topográfica elongada y relativamente simétrica que se dispone paralela al eje de un pliegue anticlinal.

Presenta cimas agudas a redondeadas, limitadas por laderas inclinadas abruptas, de formas irregulares y longitudes moderadamente largas. El origen de esta unidad se relaciona con el arqueamiento de los estratos o capas de manera divergente.

La principal expresión de esta geoforma se fotointerpretó en la Hacienda San Marcandira de la vereda Golconda, Municipio de Rionegro. Allí, se puede apreciar una prominencia alomada, elongada y paralela al eje del anticlinal de Vanegas (Figura 48). El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,47% del total de la plancha.

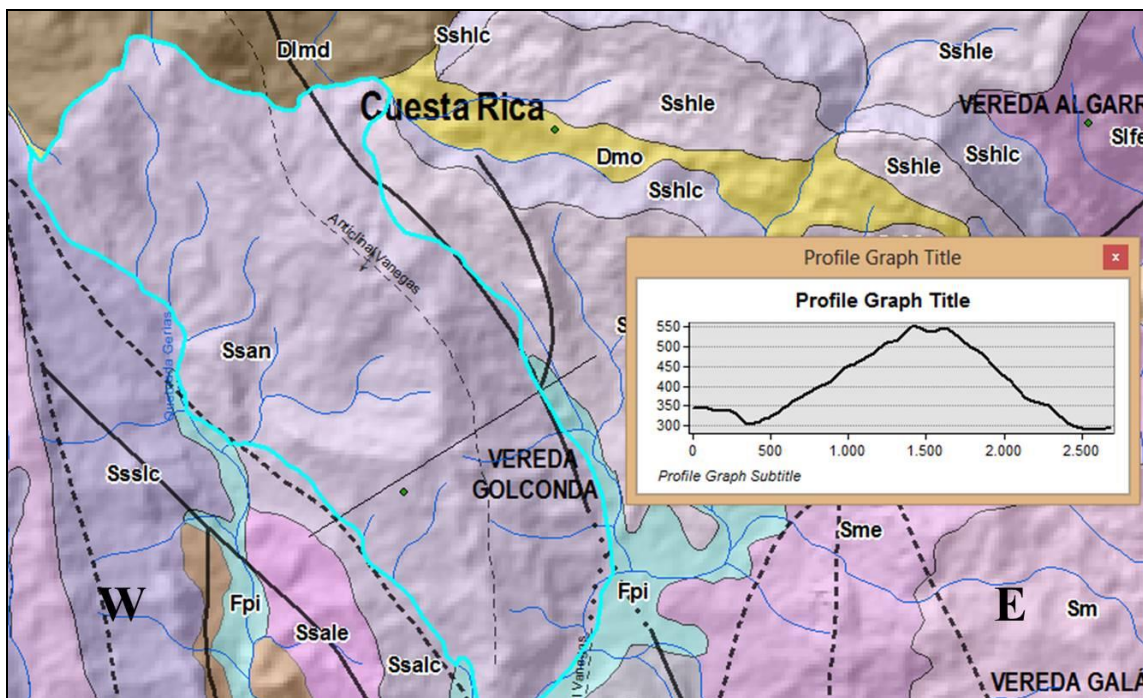


Figura 48. Perfil topográfico de la Sierra del Anticlinal de Vanegas. Vereda Golconda, Rionegro. Se observa el eje de la estructura paralela a la geoforma.

2.2.18 Barras estructurales (Ssbe)

Esta geoforma se caracteriza por prominencias topográficas de poca altura, elongadas, de morfología alomada, limitadas por laderas irregulares y cortas. Esta unidad está definida por la disposición casi vertical de las capas sedimentarias en zonas con secuencias plegadas.

En inmediaciones de la vereda San Silvestre del Municipio de Lebrija, se interpretó una zona que corresponde al flanco oriental erosionado del Sinclinal de Nuevo Mundo, caracterizada por la presencia de barras estructurales que se encuentran ligeramente denudadas, por lo cual se presentan más cortas y

ensanchadas, mostrando una dirección NNE. La litología predominante en este sector corresponde a rocas sedimentarias Paleógenas de la Formación Esmeraldas.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,62% del total de la plancha.

2.2.19 Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)

Esta geoforma corresponde a una ladera compuesta por interestratificación de rocas sedimentarias duras, intermedias y blandas cuya estratificación presenta buzamiento en contra de la pendiente del terreno. Esta ladera forma parte de una sierra homoclinal y es de longitud moderada a larga, de forma cóncava, festoneada a irregular con pendientes abruptas a escarpadas. En esta unidad es frecuente encontrar procesos de reptación de suelos y depósitos coluviales así como disección intensa por escorrentía.

Esta unidad presenta buena expresión en la vereda Cuesta Rica del Municipio de Rionegro, en donde se encuentra asociada a una ladera de estructural de sierra homoclinal (Figura 49). En este sector el material que predomina son rocas sedimentarias de las Formaciones Girón (Jg) y Tambor (Kita), con desarrollo de suelos residuales de espesor moderado.

También se desarrolla una ladera de contrapendiente de sierra homoclinal denudada en la vereda Salteras en donde nacen las quebradas Caño Seco y Guatemala. Allí afloran rocas sedimentarias de la Formación Bocas que ha desarrollado suelos residuales.

Las laderas de este tipo se caracterizan porque forman parte de una sierra homoclinal y los estratos se encuentran dispuestos en contra de la pendiente topográfica. La longitud de ladera es corta a moderadamente larga, de formas que varían entre cóncavas, festoneadas a irregulares, con pendiente abrupta a escarpada. El origen de esta geoforma se asocia a interestratificación de rocas duras, intermedias y blandas, generalmente denudadas. Es frecuente encontrar en dicha unidad, movimientos en masa menores, de tipo reptación y coluviones, así como disección intensa por escorrentía.

Esta unidad se aprecia en la vereda Salteras del Municipio de El Playón, pero su mejor expresión se observa en la vereda Cuesta Rica del Municipio de Rionegro, en donde se encuentra asociada a una ladera estructural de sierra homoclinal.

En el sector de Cuesta Rica, se puede observar que esta geoforma estructural aparece como una ladera corta, de forma recta, de pendiente escarpada, con índice de relieve bajo, con patrón de drenaje sub-paralelo, poco denso y de baja frecuencia. La cobertura vegetal predominante es de matorrales, bosques y en



menor proporción hierba. En esta unidad se observó algunos procesos de disección debidos a la acción de corrientes superficiales. Así mismo, se presentan esporádicos procesos de reptación, en el pie de dichas laderas.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 4,34% del total de la plancha.



Figura 49. Panorámica E de la unidad de Ladera de contrapendiente de Sierra Homoclinal "Sshlc". Fotografía tomada desde la Hacienda Santa Clara, en inmediaciones de la vereda Cuesta Rica.

2.2.20 Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle)

Corresponde a una ladera con estratos a favor de la pendiente topográfica que conforma una sierra homoclinal. Dicha ladera es de longitud moderadamente larga, de forma recta a convexa con pendiente escarpada a muy escarpada. El material predominante son rocas duras e intermedias que desarrollan suelos residuales de poco espesor.

La mejor expresión de esta unidad se observa en la vereda Cuesta Rica del Municipio de Rionegro, en donde se encuentra asociada a una ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Figura 50). En este sector el material que predomina son rocas sedimentarias de las Formaciones Girón (Jg) y Tambor (Kita).

El porcentaje en área de esta geoforma es de 6,14% del total de la plancha.



Figura 50. Panorámica SE de la unidad de Ladera estructural de Sierra Homoclinal “Sshle”. Imagen satelital en vista 3D extraída de Google Earth. Se detalla la morfología recta y elongada de esta unidad, que a diferencia de Sshlc, tiene pendiente inclinada y la longitud es moderadamente larga. La línea roja indica límite entre geoformas.

2.2.21 Sierra y lomo de presión (Sslp)

Se trata de una elevación topográfica de morfología alomada elongada, limitada por laderas irregulares de longitud corta, de pendiente abrupta a escarpada. Esta geoforma se caracteriza por estar presente en zonas compresivas, en donde el truncamiento y desplazamiento vertical de dos fallas da lugar a la expulsión un bloque de terreno.

En la vereda Altamira del Municipio de Rionegro, sobre la quebrada Sardinas se observa un lomo de presión que se encuentra limitado por la Falla de Sardinas al oeste y por un lineamiento local al este. En este sector dicha geoforma no presenta movimientos en masa, pero si se aprecian procesos de erosión surcos y terracetas a nivel local. El material involucrado corresponde a rocas sedimentarias de la Formación Girón y parte de la Formación Bocas (Figura 51).

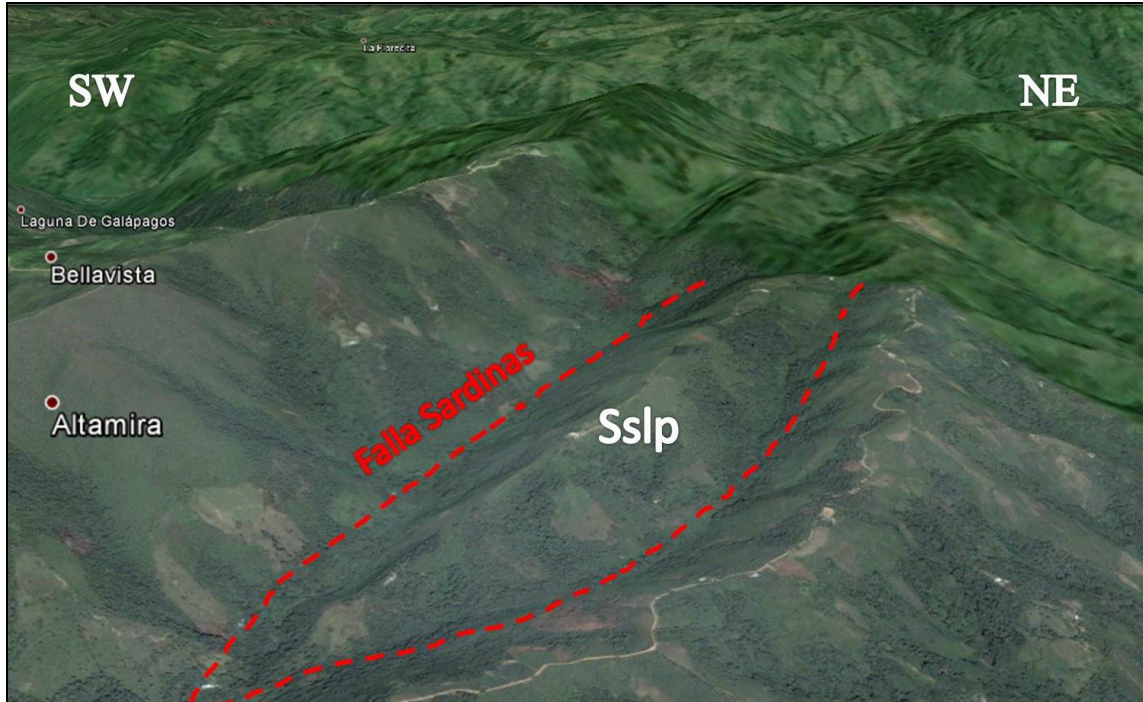


Figura 51. Panorámica NW de la unidad de Lomo de Presión “Sslp”. Imagen satelital extraída de Google Earth. Se detalla la morfología alomada del lomo y su limitación estructural por dos fallas geológicas. Las líneas punteadas indican lineamientos estructurales.

En la vereda Bremen baja del Municipio de Rionegro, se aprecia un lomo de presión asociado al trazo principal de la Falla de Bucaramanga, que se caracteriza por su morfología alomada elongada, limitado por laderas irregulares cortas de pendiente escarpada. Presenta un patrón de drenaje sub-paralelo de frecuencia y densidad bajas, con textura mediana. El material que predomina en esta geoforma es ígneo intermedio constituido por granodioritas biotíticas Jurásicas, que presentan meteorización débil a moderada, con desarrollo de algunos suelos residuales areno-arcillosos. En esta geoforma no se observaron movimientos en masa y como tipo de erosión predominante se encontró algunas zonas con terracetas en la parte alta del lomo (Figura 52).

Así mismo esta geoforma tiene buenas expresiones en las veredas La Colorada y Valparaíso de Rionegro y en la vereda La Corcova de Tona, en donde se asocian a procesos de truncamiento y desplazamiento vertical que ha expulsado grandes bloques de terreno dando lugar a Sierras de Presión.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 1,38% del total de la plancha.



Figura 52. Panorámica E de la unidad de Lomo de Presión “Sslp”, tomada desde la vereda San Pablo (Rionegro). Se observa la morfología alomada y elongada de este cerro aislado asociado al trazo de la Falla de Bucaramanga. La línea punteada indica límite entre geoformas.

2.2.22 Sierra sinclinal (Sss)

Esta unidad corresponde a una sierra con morfología colinada, amplia, en forma de artesa formada en el eje de un sinclinal. Dicha geoforma se ha originado por un proceso de inversión del relieve, por lo que la artesa original se ha convertido en una prominencia topográfica limitada por laderas de contrapendiente, debido a procesos denudativos diferenciales que han dejado expuestos los flancos de la estructura.

En la zona de estudio, se definió dicha geoforma mediante la utilización de insumos de fotointerpretación, que permitieron observar y definir los límites de esta unidad. Con la fotointerpretación se observó que esta unidad se presenta como un conjunto de prominencias de morfología colinada y en algunos casos alomada, con pendientes abruptas a escarpadas, cortas a moderadamente largas, las cuales se asocian a una estructura sinclinal que se presenta sobre rocas sedimentarias Triásicas de la Formación Bocas, en las veredas Plazuela y Catatumbo, en el bloque oriental de la Falla de Lebrija (Figura 53).

No se identificaron movimientos en masa ni procesos de erosión acentuados en esta geoforma.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,58% del total de la plancha.



Figura 53. Panorámica NE de la unidad de Sierra Sinclinal. Imagen satelital extraída de Google Earth. Se aprecia la prominencia topográfica a manera de sierra típica del eje de una estructura sinclinal, en este caso, el Sinclinal de Vanegas. Vereda Centro de Menzulí (Rionegro), confluencia del río Cáchira con el río Lebrija. La línea punteada indica el eje del anticlinal.

2.2.23 Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc)

Esta geoforma corresponde a una ladera que forma parte de una sierra asociada a una estructura sinclinal, en donde el buzamiento de los estratos se dispone en contra de la pendiente topográfica. Dicha ladera es de longitud corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregular escalonada, de pendiente abrupta a escarpada. Generalmente esta unidad presenta procesos denudativos y erosión sobre rocas blandas en alternancia con intermedias. El patrón de drenaje típico es dendrítico a paralelo y se encuentra asociado a la Formación de barrancas.

Se observó mediante fotointerpretación la presencia de laderas de contrapendiente de sierra sinclinal asociadas al flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo, en sectores pertenecientes a las veredas Río Sucio, El Cristal, Canoas, El Centenario, Palenquero, Chupas, entre otras, que pertenecen al Municipio de Lebrija. En estos sectores se aprecian laderas cortas a muy cortas, de pendiente abrupta a escarpada, agrupadas en franjas alargadas de orientación NNE a N-S, asociadas a laderas escalonadas y laderas

estructurales de sierra sinclinal. En esta geoforma no se observaron movimientos en masa ni procesos de erosión acentuados.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 4,24% del total de la plancha.

2.2.24 Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle)

Esta unidad estructural se caracteriza porque se trata de una ladera, generalmente desnuda, en la cual el buzamiento de las capas se dispone a favor de la pendiente. La ladera es de pendiente inclinada a muy abrupta, de longitud corta, de forma convexa a recta. En general, el material que predomina en esta geoforma son rocas intermedias a duras, de origen sedimentario. La red de drenaje característica es sub-paralela. A escala local, la estratificación presenta menor pendiente natural que la del terreno.

Esta unidad también se observó mediante fotointerpretación y su presencia está restringida al flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo asociada con laderas de contrapendiente de sierra sinclinal. Los sectores donde se presenta esta geoforma pertenecen a las veredas Río Sucio, El Cristal, Canoas, El Centenario, Palenquero, Chupas, entre otras, que forman parte de la jurisdicción del Municipio de Lebrija. En estas zonas se aprecian laderas cortas a moderadamente largas, de pendiente muy inclinada a abrupta, agrupadas en franjas alargadas de orientación NNE a N-S. En esta geoforma no se observaron movimientos en masa ni procesos de erosión acentuados.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 4,72% del total de la plancha.

2.2.25 Plano aluvial confinado (Svc)

Esta unidad se considera de origen estructural debido a que se asocia al bloqueo temporal de un cauce fluvial por fallamiento, lo que da lugar a una superficie de origen aluvial relativamente plana, limitada por ondulaciones de mayor altura a manera de valle cerrado "Blind Valley".

Esta geoforma fue interpretada en la zona de estudio, en inmediaciones de las veredas Puerto Santos y Robada del Municipio de Sabana de Torres. Allí ejerce el control estructural un lineamiento de dirección N-S sobre rocas sedimentarias de la Formación Mesa, quedando confinada una superficie plana de origen aluvial, que corresponde a la geoforma en cuestión (Figura 54).

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,05% del total de la plancha.

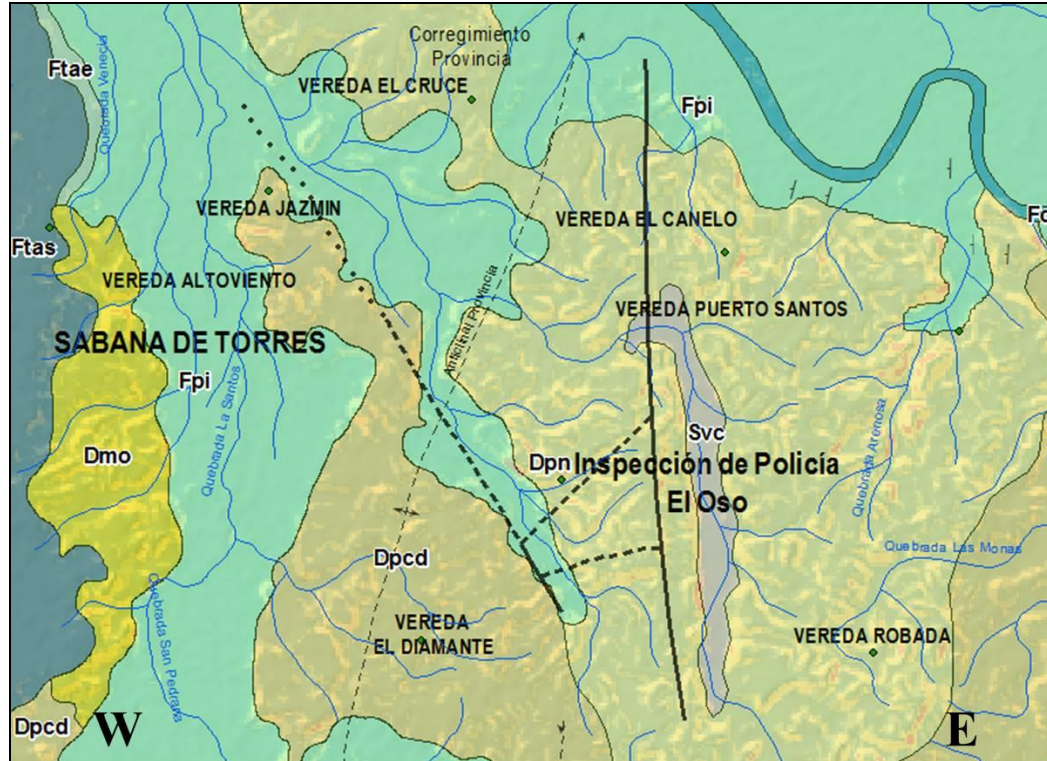


Figura 54. Imagen de la interpretación geomorfológica de un Plano aluvial confinado “Svc”, en el sector de la vereda Puerto Santos (Sabana de Torres). Se observa el lineamiento estructural de dirección N-S y la zona de pendiente plana que corresponde a dicha geoforma.

2.3 GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL

El ambiente fluvial es el de menor ocurrencia pero no menos importante en la Plancha 109-Rionegro. Con un 13,94% del área total, las geoformas de origen fluvial tienen predominio en aquellos sectores donde predominan los procesos de la dinámica fluvial de los ríos Sogamoso, Lebrija, Río Negro y Suratá. Estos afluentes han actuado a lo largo del tiempo geológico, generando procesos de depositación, socavación y disección que ha dado lugar a diferentes geoformas como conos extensas planicies de inundación, terraza de acumulación y terrazas sub-recientes con sus respectivos escarpes asociados. No obstante, las diferentes redes de drenaje de esta región que no sólo son producto de la dinámica fluvial sino también del fuerte control tectónico que hay, están compuestas por quebradas y pequeños arroyos, los cuales también hacen su trabajo, dando lugar a cauces fluviales, planos aluviales confinados, conos de deyección, abanicos aluviales, entre otras geoformas propias de este ambiente.

Aunque se considera que la mayoría de geoformas fluviales tienen baja susceptibilidad a movimientos en masa, no se puede desconocer los problemas



de inestabilidad que pueden generarse en depósitos de conos de deyección, abanicos aluviales y en los escarpes de terrazas fluviales, geformas sobre las cuales es frecuente encontrar asentamientos humanos, incrementando el factor de vulnerabilidad en esta problemática.

2.3.1 Barra longitudinal (Fbl)

Esta unidad geomorfológica corresponde a un cuerpo alargado constituido por sedimentos aluviales, localizado paralelamente en el centro de los cauces fluviales mayores, con la punta más aguda en dirección de la corriente. En vista de planta presenta forma romboidal, mientras que de perfil es de forma convexa con morfología suavemente ondulada. El origen de esta geoforma se relaciona con la acumulación de sedimentos durante eventos de inundación que al disminuir el caudal, queda como remanente que divide la corriente. Los sedimentos que predominan son arenas y gravas finas.

Esta geoforma se presenta principalmente en el cauce del río Sogamoso en la esquina Suroccidental de la Plancha 109-Rionegro. Se caracteriza por su forma alargada, localizada en la parte central y paralela al curso de dicho río (Figura 55).



Figura 55. Vista de planta de las Barras longitudinales “Fbl” en el río Sogamoso. Sector Puerto Bello en la vereda La Putana del Municipio de Betulia. Imagen satelital tomada de Google Earth.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,08% del total de la plancha.

2.3.2 Cauce aluvial (Fca)

Esta geoforma se origina a partir de la excavación de corrientes perennes o estacionales dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales, lo que da lugar a la Formación de una canal de forma irregular. La continuidad de esta geoforma con la distancia, depende en gran medida de factores como la pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal de la corriente.

La forma del cauce puede estar asociada a un control estructural (fallas, lineamientos, diaclasas) en el caso de cauces rectos, como también puede estar relacionado con la topografía, pues en zonas semiplanas a planas, los cauces son de tipo meándrico, debido al cambio súbito en la dirección del flujo.

Existen otras geoformas asociadas como los sistemas anastomosados, trezados, divergentes entre otros, los cuales dependen de la cantidad de carga de sedimentos en la corriente.

Los cauces importantes y cartografiables a la escala de trabajo, son los ríos Lebrija, Sogamoso y algunos tramos de los ríos Playonero, Rionegro, Suratá y Charta (Figura 56). El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,52% del total de la plancha.

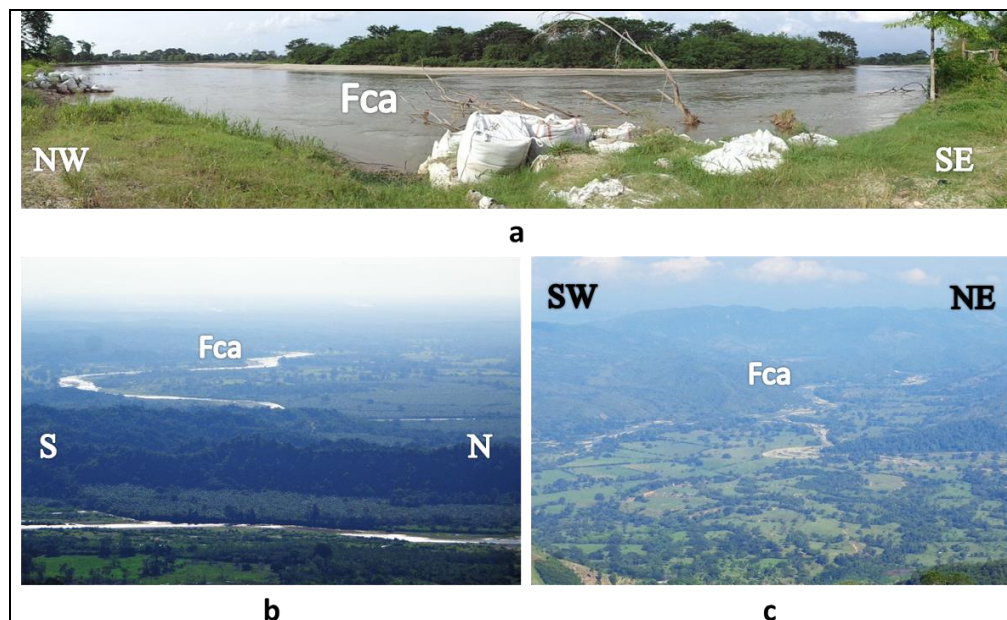


Figura 56. Panorámicas de la unidad de Cauce aluvial activo Fca observadas en el río Lebrija: a) Panorámica NW en inmediaciones de la vereda Boca de La Tigra, Municipio de Sabana de Torres; b) Panorámica W desde la vereda Tambo Quemado del Municipio de Rionegro; c) Panorámica NW desde la finca Águilas en la vereda Popas del Municipio de Rionegro.

2.3.3 Cono de deyección (Fcdy)

Depósito de origen aluvial que resulta del transporte de sedimentos por corrientes fluviales a zonas de valles amplios en donde depositan dicho material, dando lugar a superficies con decenas de metros de extensión en forma de cono cuyas inclinaciones no superan los 10° . La disposición granulométrica de los sedimentos más gruesos se concentra hacia el ápice mientras los más finos se localizan hacia la zona distal del cono (Figura 57).

La expresión más importante de esta unidad se localiza en la vereda Halirimante de Rionegro, en donde la confluencia de las quebradas Salamaga, Caño León y La Tamboreña, ha depositado gran cantidad de material aluvial que se ha dispuesto conformando un antiguo cono de deyección de gran extensión, el cual se explaya sobre la llanura de inundación del río Lebrija y con el transcurrir del tiempo geológico se ha adosado a ésta. Aunque las pendientes muy suaves de esta geoforma no dan lugar a movimientos en masa, si se pueden producir procesos de erosión en surcos debido a la red de drenaje que discurre por este depósito.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,49% del total de la plancha.

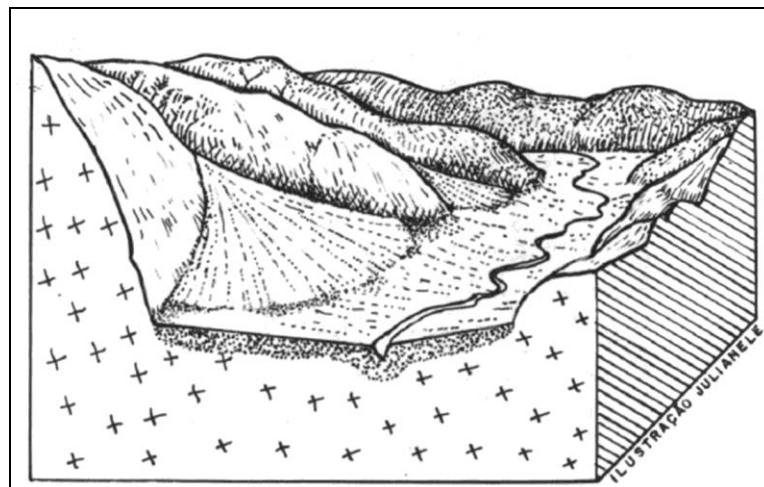


Figura 57. Esquema ilustrativo de un Cono de deyección "Fcdy". Tomado y adaptado de Almeida, B. *et al* (1995).

2.3.4 Meandro abandonado (Fma)

Esta geoforma se origina debido a la migración lateral de una corriente de agua hacia la parte contraria de la concavidad, lo cual se asocia al estrangulamiento de un meandro por la corriente, siguiendo el camino más recto. Esta unidad se aprecia como el tramo curvo del curso antiguo de un río temporalmente inundable, en donde el material predominante son sedimentos finos arcillosos

con intercalaciones de turba producto del estancamiento del agua junto con acumulación de material orgánico (Figura 58).

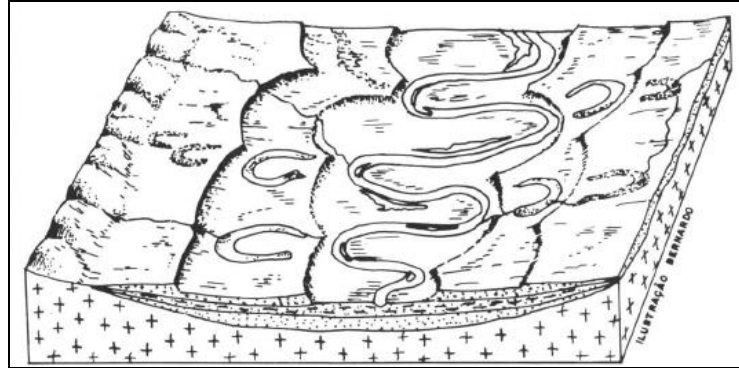


Figura 58. Esquema ilustrativo de la unidad de meandros abandonados Fma. Tomado y adaptado de Almeida, B. *et al* (1995).

La distribución de esta unidad en la Plancha 109-Rionegro se restringe a un sector cercano a la vereda La Martha del Municipio de Sabana de Torres, en donde el río Sogamoso ha dejado remanentes de curvaturas del antiguo cauce, las cuales han sido pobladas de vegetación pero aún se pueden reconocer como meandros abandonados (Figura 59). El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,02% del total de la plancha.

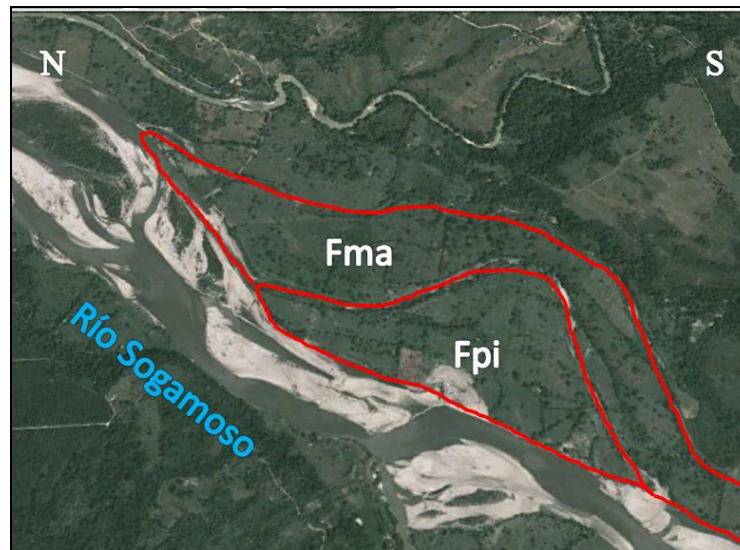


Figura 59. Panorámica de la unidad de meandro abandonado Fma. Imagen satelital extraída y editada de Google Earth. Sector de vereda La Martha, Sabana de Torres.

2.3.5 Planicie aluvial confinada (Fpac)

En zonas donde predomina el control estructural, puede producirse estrangulamiento de cauces fluviales, cuyos depósitos dan lugar a franjas de terreno de morfología plana, eventualmente inundables, que se encuentran limitadas por geformas de morfología colinada, alomada o montañosa, dando lugar a planicies aluviales confinadas.

En la esquina sureste de la plancha, se encuentra el corregimiento de Cachirí (Municipio de Suratá), el cual se encuentra sobre un antiguo cono de deyección que debido al control estructural de dos lineamientos (uno de ellos el del río Cachirí) ha permitido el confinamiento del mismo, dando lugar a un plano aluvial confinado de forma triangular en vista de planta (Figura 60). El porcentaje en área de esta geforma es de 0,01% del total de la plancha.

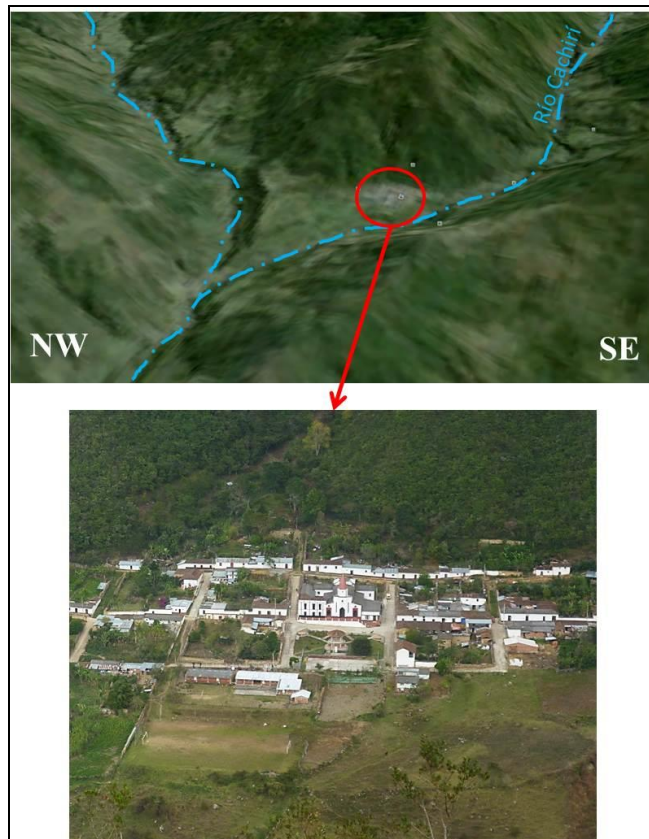


Figura 60. Panorámica del corregimiento de Cachirí (Suratá), el cual se encuentra sobre un antiguo cono de deyección que por tectonismo se convirtió en una Planicie aluvial confinada.

2.3.6 Planicie o llanura de inundación (Fpi)

Esta unidad se caracteriza por ser una porción de terreno topográficamente plano, de morfología baja a ondulada, eventualmente inundable, limitado por escarpes de terraza. Se localiza en el borde de los cauces fluviales, pero también incluye los planos fluviales menores en forma de U o V y también los conos coluviales menores que se presentan en los flancos de valles intramontanos. En algunos casos se pueden presentar pequeñas colinas debido a procesos de erosión y acumulación de sedimentos en esta geoforma. El material que predomina en esta unidad son sedimentos finos debido a la sedimentación durante eventos de inundación fluvial.

Esta unidad tiene su mejor expresión geomorfológica en los bordes de los cauces de los ríos más importantes de la zona: río Lebrija, río Sogamoso, río de Oro, Rionegro, río Playonero (Figura 61).



Figura 61. Panorámica NW de la unidad de planicie de inundación Fpi. Fotografía tomada desde la vereda Tambo Quemado del Municipio de Rionegro. Se observa la gran extensión que tiene esta unidad, caracterizándose por su morfología plana a ondulada.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 10,48% del total de la plancha.

2.3.7 Terraza de acumulación (Fta)

Se trata de un plano alargado de morfología plana a ondulada, limitado por escarpes de altura variable, que se presenta a lo largo del cauce de un río. Esta geoforma se origina debido a procesos de erosión y acumulación aluvial en antiguas llanuras de inundación y su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. El material predominante corresponde a sedimentos aluviales constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, en donde el tamaño de grano va disminuyendo a medida que se aleja del cauce del río (Figura 62).

Esta unidad se cartografió en los cauces que desarrollan terrazas de extensión considerable, como es el caso del río de Oro en el sector de Bocas de Girón, el

río Lebrija en el sector de las veredas El Tambor y Halirimante de Lebrija y el río Playonero en cercanías al casco urbano del Municipio del Playón (Figura 63).

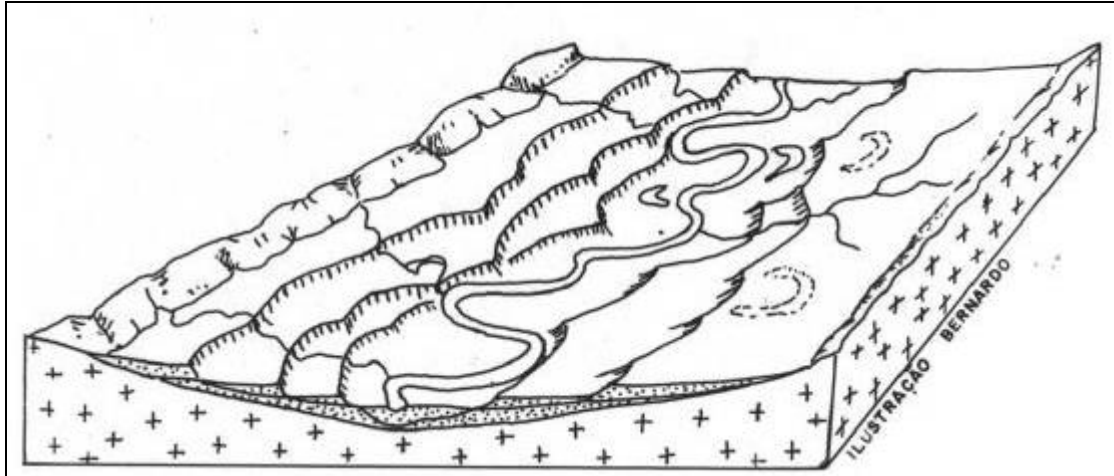


Figura 62. Esquema ilustrativo de la unidad de Terrazas de acumulación "Fta". Tomado y adaptado de Almeida, B. et al (1995).

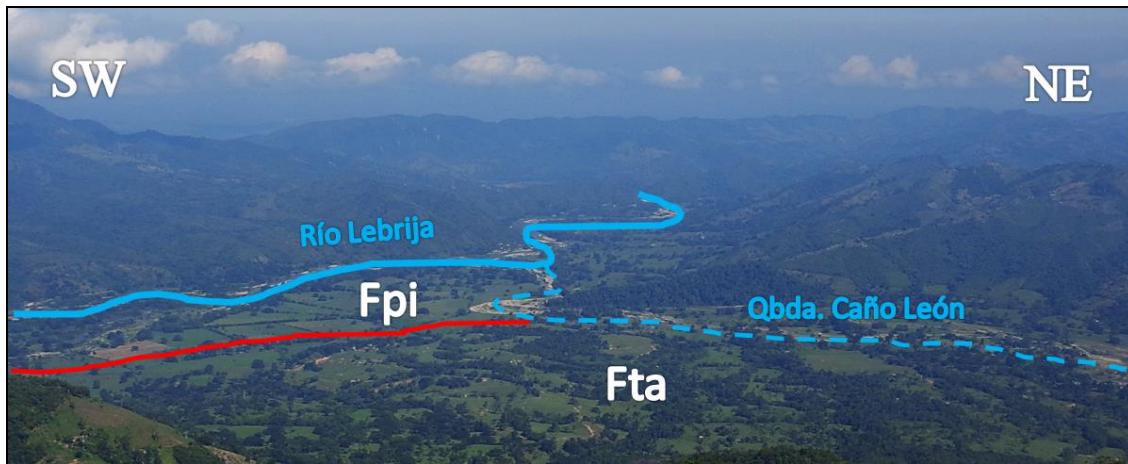


Figura 63. Panorámica NW de la unidad de terraza de acumulación Fta, registrada desde la finca Águilas, de la vereda Popas (Rionegro). Se observa la morfología ondulada y su asociación al cauce fluvial del río Lebrija, en el sector de la vereda El Tambor.

En cuanto a procesos de erosión y movimientos en masa activos, no se observó este tipo de eventos, a excepción de algunas zonas donde la corriente de los ríos produce socavación del pie de los taludes sub-verticales que limitan las terrazas de acumulación. No obstante, esta unidad representa un elemento de importancia para la zonificación de amenazas, pues se trata de un depósito no consolidado de origen aluvial donde es común encontrar asentamientos

humanos y debido a sus condiciones geotécnicas es susceptible de sufrir movimientos en masa.

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,30% del total de la plancha.

2.3.8 Escarpe de terraza de acumulación (Ftae)

El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,20% del total de la plancha. Las terrazas de acumulación fluvial suelen estar limitadas por planos sub-verticales escalonados que han sido excavados en sedimentos aluviales. El origen de esta geoforma está asociado a incisión y profundización del cauce. La altura de dichos escarpes puede alcanzar decenas de metros.

En la zona de estudio esta geoforma tiene su principal expresión bordeando las terrazas de acumulación de río Sogamoso en la vereda La Marta de Girón, el cual a su paso puede socavar dichos escarpes en algunos tramos de su curso (Figura 64).

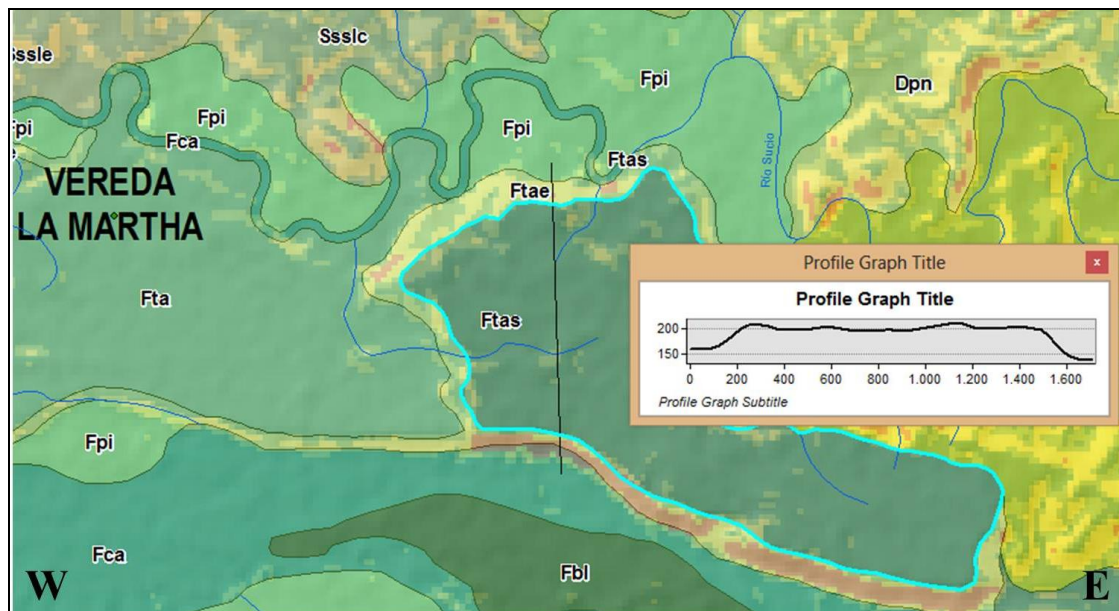


Figura 64. Perfil topográfico donde se observa el Escarpe de una terraza sub-reciente. Vereda La Martha, Girón.

2.3.9 Terraza de acumulación antigua (Ftan)

Corresponde a un depósito aluvial cuya superficie es relativamente extensa, alomada, caracterizada por presentar pendientes no superiores a los 10° en las partes altas. Esta geoforma se encuentra limitada por escarpes de disección con forma de V. Por lo general, este tipo de terrazas aluviales se presentan colgadas discordantemente sobre unidades más antiguas. El origen de esta

unidad puede estar asociado a disección y tectonismo de antiguos abanicos y planicies aluviales.

En la zona de estudio se encontró un depósito de terraza aluvial que por su disposición, extensión y situación temporal se interpretó como una terraza de acumulación antigua, la cual sirve como geoforma sobre la cual se cimentó el corregimiento de Bocas (Girón) (Figura 65). El porcentaje en área de esta geoforma es de 0,01% del total de la plancha.



Figura 65. Imagen extraída de Google Earth, donde se observa el corregimiento de Bocas (Girón) que se encuentra sobre una terraza antigua del río Lebrija, en la zona de confluencia con el río Negro.

2.3.10 Terraza de acumulación subrecientes (Ftas)

El porcentaje en área de esta geoforma es de 1,86% del total de la plancha. Constituida por una superficie plana a suavemente ondulada, que se presenta como remanente de terrazas sub-recientes, localmente basculadas, disectadas con inclinaciones que no superan los 10°. Puede tener escarpes de terraza asociados. El origen de esta unidad se da gracias a la ampliación del antiguo valle de un río, al ganar importancia la erosión en sus márgenes. La superficie de la anterior llanura aluvial queda adosada a las márgenes del valle a manera de escalón o resalte topográfico, definiendo así la terraza. En general, este tipo

de depósitos está constituido por arenas, arcillas con intercalaciones de grava fina.

Esta geoforma se puede encontrar asociada a las márgenes del río Sogamoso y el río Lebrija en algunos tramos. Principalmente en los sectores de las veredas La Marta (Girón) y la Putana (Betulia), en donde el amplio cauce del río Sogamoso ha dejado vestigios de la depositación de sedimentos a manera de terrazas sub-recientes asociadas a planicies de inundación activas de este afluente.

2.4 EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA

La Plancha 109-Rionegro abarca de este a oeste lo que Royero y Clavijo (2001) consideran como Provincia Macizo de Santander, Provincia Cordillera oriental y Provincia Valle Medio del Magdalena. Estas regiones presentan una compleja actividad tectónica a lo largo del tiempo geológico, la cual ha estado dominada por eventos de deformación frágil actuando sobre rocas de basamento cristalino del Macizo de Santander y deformación dúctil sobre rocas sedimentarias depositadas en la cuenca del Valle Medio del Magdalena. Los diferentes sucesos y etapas de deformación son resultado de esfuerzos principalmente de tipo compresivo.

Esta dinámica ha permitido la Formación de estructuras regionales pre-cretácicas como la Falla de Bucaramanga que es la responsable del levantamiento de un gran bloque oriental ígneo-metamórfico Pre-devónico conocido como el Macizo de Santander sobre un bloque Occidental conformado por una secuencia sedimentaria Cretácica plegada. El trazo principal, que corresponde a una falla de rumbo sinistral con componente vertical inversa, ha generado una expresión topográfica bastante marcada que se evidencia en las diferencias de altura en sus flancos, siendo el bloque oriental el que alcanza alturas de hasta 3000 msnm, mientras el bloque Occidental no supera los 1400 msnm. Las principales evidencias morfotectónicas de esta zona de falla corresponden a ganchos de flexión, lomos de falla y un gran lomo de obturación que cambia parcialmente el curso del Río Negro en las veredas San Ignacio y La Sabana al norte del Municipio de Bucaramanga. Estas geoformas son el resultado de procesos de truncamiento y desplazamiento vertical y lateral de bloques de Cuarzomonzonita, Neises (Neis de Bucaramanga) y Esquistos (Formación Silgará), que al ser exhumados quedan expuestos a agentes de meteorización que actúan sobre dichos materiales, para dar lugar a una capa de suelo residual con espesores variables, que debido al alto grado de fracturamiento generado por este sistema de fallas y a las propiedades geomecánicas de estos suelos, propician el desarrollo de geoformas como sierras denudadas y deslizamientos traslacionales con flujos de tierra, en varios sectores de los municipios de Rionegro y El Playón, en donde el clima cálido

húmedo ha contribuido al desarrollo de fuertes procesos de carcavamiento que se intensifican en épocas de lluvias generando alto grado de afectación muchas vías interveredales. Así mismo, los bloques de rocas foliadas de la Formación Silgará junto con los patrones de diaclasamiento de los cuerpos intrusivos, definen Sierras homoclinales con laderas estructurales y de contrapendiente en algunos sectores rurales de Matanza, El Playón y Rionegro,

La Falla de Suratá es otro de los elementos tectónicos que ha contribuido en gran manera al modelamiento del paisaje, pues se trata de una falla inversa que ha levantado un extenso bloque de rocas metamórficas de la Formación Silgará, sobre parte de la secuencia cretácica que aflora en los sectores aledaños al Municipio de Matanza y Suratá. A lo largo del trazo principal de esta falla con dirección NNE, los procesos de desplazamiento vertical y lateral de pequeños bloques de roca, han permitido la Formación de lomos de falla, ganchos de flexión y un lomo de obturación que cambia parcialmente el curso del río Suratá, en la vereda el Tanque (Matanza). Posteriormente procesos de disección de la red de drenaje que comprende los flancos de la falla, ha permitido la Formación de espolones que se ubican perpendicularmente esta estructura. Estas geoformas constituyen evidencias del fuerte control tectónico de carácter compresivo en esta zona.

Luego de que la Falla de Bucaramanga exhumara el bloque del Macizo de Santander se produjo la depositación de una secuencia de sedimentos marinos durante la transgresión cretácica que posteriormente sería plegada para dar lugar al Sinclinal de Nuevo Mundo. Dentro del flanco Occidental de la falla se puede definir un bloque Central de la Plancha 109-Rionegro que está limitado por las fallas de Bucaramanga y Lebrija y corresponde a la parte más oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo, en donde se puede evidenciar que las rocas sedimentarias de Bocas, Girón y parte de la secuencia cretácica han sido afectadas por una serie de fallas y lineamientos locales posteriores que generan fracturamiento de los materiales disminuyendo su resistencia y permitiendo que se acentúen procesos de meteorización. Es así como se puede observar en algunos sectores, vestigios de estructuras homoclinales con sus laderas estructurales y de contrapendiente, al igual que se pueden encontrar unidades remanentes de procesos denudativos como lomeríos disectados, colinas remanentes muy disectadas, montículos y ondulaciones. Aunque no hay densidad considerable de movimientos en masa en estas geoformas, es claro que el clima cálido húmedo y el uso intensivo de suelo para ganadería en los sectores de las veredas Galápagos, Cuesta Rica, y algunas veredas de Lebrija, han acentuado procesos de erosión en terracetas y reptaciones de suelos muy locales.

Finalmente el bloque más occidental de la plancha que abarca gran porcentaje del Municipio de Sabana de Torres, aún presenta control tectónico por parte del

Sinclinal de Nuevo Mundo, que se evidencia en geoformas asociadas a laderas estructurales y de contrapendiente. No obstante, la dinámica fluvial del río Magdalena y sus tributarios el río Lebrija y el río Sogamoso también han desarrollado un papel importantes generando procesos de depositación de sedimentos aluviales que hoy conforman depósitos Cuaternarios de terrazas sub-recientes así como depósitos de cauce y llanuras aluviales, los cuales se depositaron conformando una cubierta sobre rocas de edad Paleógena. Los fuertes procesos de erosión superficial de tipo surcos sobre estas rocas poco consolidadas, ha permitido que el flanco del Sinclinal de Nuevo Mundo haya sido peneplanizado en esta zona dejando como resultado geoformas de planicies colinadas y penillanuras. Por lo tanto, esta provincia del Valle del Magdalena Medio es modelada geomorfológicamente por procesos de dinámica fluvial y procesos de meteorización y erosión de las unidades sedimentarias que allí ocurren (Figura 66).

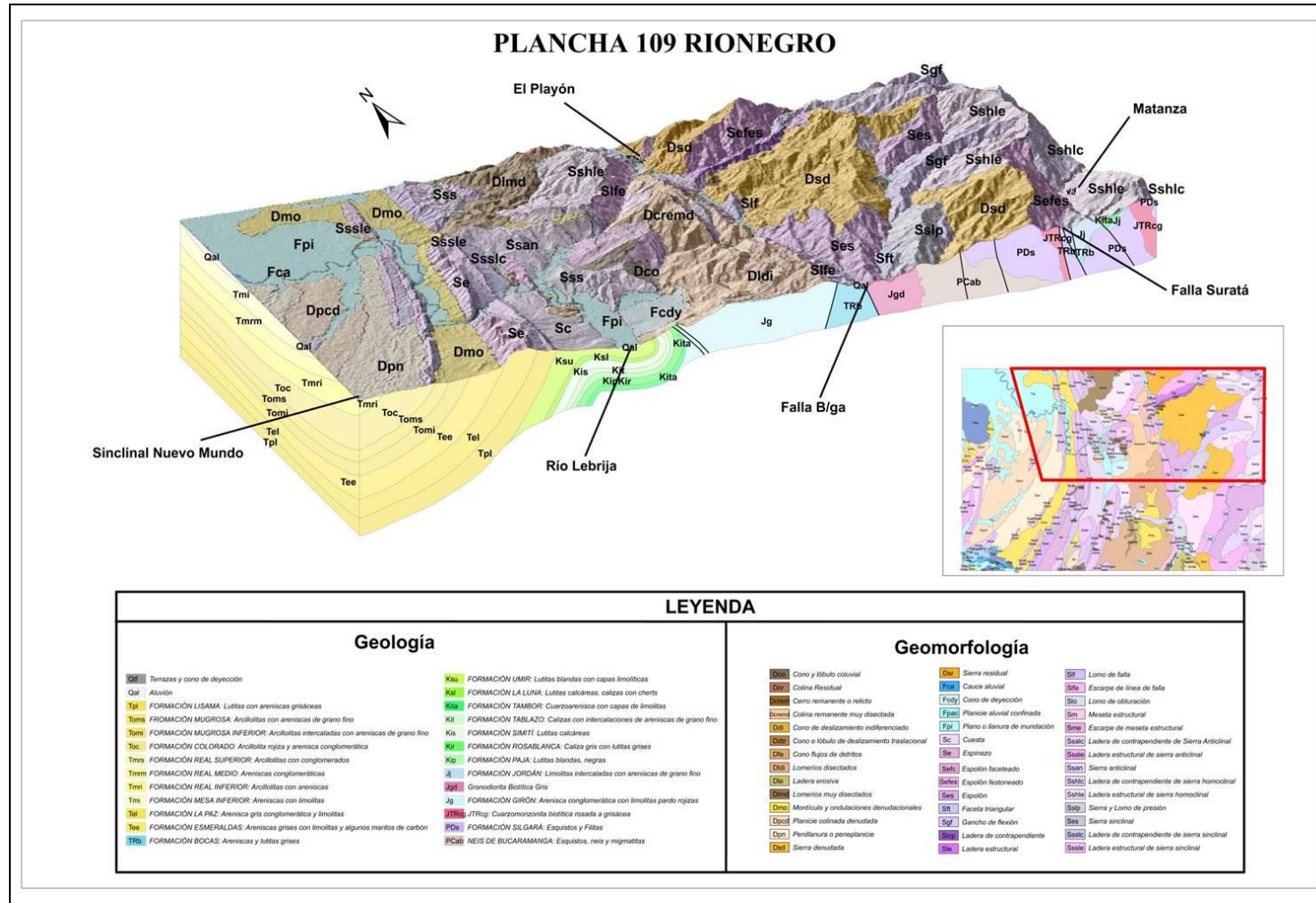


Figura 66. Esquema ilustrativo 3D, en el cual se muestra una panorámica regional con el modelo de Sombras y las unidades geomorfológicas asociadas con la geología del subsuelo correspondientes a un perfil este - oeste de la Plancha 109-Rionegro.

CONCLUSIONES

El área que cubre la Plancha 109-Rionegro se caracteriza por presentar tres dominios morfogénéticos: estructural, denudativo y fluvial, cada uno de los cuales se encuentran relacionados intrínsecamente con procesos endógenos y exógenos que tienen lugar en esta región. El ambiente estructural tiene su principal expresión sobre el flanco oriental de la Falla de Bucaramanga mejor conocido como el Macizo de Santander; el ambiente denudativo se presenta con buena expresión en la franja central de la plancha, limitado por las fallas de Bucaramanga y Lebrija; mientras que el ambiente fluvial aparece hacia el costado Occidental de la zona, en jurisdicción de los municipios de Sabana de Torres, Girón y Betulia, en donde los ríos Lebrija y Sogamoso con sus afluentes han modelado el paisaje de este sector.

La zona de estudio se caracteriza porque los diferentes ambientes geomorfológicos están fuertemente afectados por procesos denudativos que actúan de forma diferencial, por lo que en algunos sectores se tienen geoformas de origen estructural y fluvial que preservan su naturaleza original pero presentan algunos procesos denudativos, mientras que en otros sectores se observan geoformas totalmente denudadas que aparecen como remanentes y residuales de dichos procesos.

El ambiente estructural es el resultado de procesos endógenos asociados a la dinámica interna terrestre, que en esta zona, se encuentra controlada por la tectónica de tres placas que convergen: Caribe, Nazca y Suramericana, lo cual se traduce en la ocurrencia de eventos de deformación frágil y dúctil sobre la corteza terrestre a lo largo del tiempo geológico, que han dado lugar a la actual configuración estructural de la zona de estudio.

Dentro del ambiente estructural se incluyen geoformas como laderas estructurales y laderas de contrapendiente de diferente índole, que corresponden a la expresión morfológica de estructuras plegadas como el Sinclinal de Nuevo Mundo, que es el plegamiento más representativo de la zona. También se presentan unidades geomorfológicas que se originan a partir de fallas como la Falla de Bucaramanga y la Falla de Suratá, que son las estructuras con expresión morfológica más notable en esta región.

Las geoformas asociadas a fallas se presentan generalmente sobre rocas ígneas y metamórficas del Macizo de Santander, como es el caso del Neis de Bucaramanga, Ortoneis, Formación Silgará y los cuerpos intrusivos de Cuarzomonzonita biotítica y Granodiorita. Por otra parte, las geoformas relacionadas con pliegues, se presentan sobre rocas sedimentarias cuya edad de depositación va desde el Triásico hasta el Terciario, como es el caso de la Formación Bocas, Girón, la secuencia Cretácica del Valle del Magdalena Medio y la secuencia Terciaria.

El ambiente denudacional se relaciona directamente a procesos exógenos de meteorización física y química del macizo rocoso que dan lugar al desarrollo de suelos residuales, los cuales conforman geoformas residuales y remanentes. El origen de dichas geoformas está condicionado por la acción de factores externos, de los cuales, el que predomina en la zona de estudio es el clima (temperatura y precipitación) con su diversidad de pisos térmicos.

El ambiente fluvial está controlado por procesos de acumulación de material por parte de los cauces de los ríos Lebrija, Sogamoso, río de Oro, Rionegro, Surata y Charta, los cuales dan lugar a depósitos no consolidados de sedimentos aluviales, los cuales, a pesar de que en esta zona no presentan movimientos en masa considerables, siguen siendo susceptibles ante procesos de socavación que pueden detonar eventos de remoción en masa.

Las geoformas de origen denudacional al igual que las de origen estructural representan especial importancia en la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa de esta región, pues son las que presentan el mayor número de procesos denudativos y movimientos en masa entre los que se destacan: flujos, reptación y deslizamientos rotacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCALDÍA MUNICIPAL DE RIONEGRO - SANTANDER. 1999. Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Rionegro-Santander. 142 páginas.
- ALCALDÍA MUNICIPAL DE EL PLAYÓN - SANTANDER. 2004. Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de El Playón-Santander.
- ALCALDÍA MUNICIPAL DE MATANZA - SANTANDER. 2003. Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Matanza-Santander. 601 Pág.
- ALCALDÍA MUNICIPAL DE SABANA DE TORRES - SANTANDER. 2000. Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Sabana de Torres-Santander.
- ALMEIDA, B. CASTRO, M. ALMEIDA, V. FILHO, T. 1995. Manual Técnico de Geomorfología. Series Manuales Técnicos de Geociencias. N.5, P.P 111. Río de Janeiro. ISSN 85-240-0509-2.
- CAMPBELL, C. J. 1965. The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting: Fourth Caribbean Geology Conference., Trinidad, W.I., 24 p.
- CARVAJAL, J., 2002. Caracterización de la metodología geomorfológica adaptada por INGEOMINAS. Documento interno INGEOMINAS sometido a discusión y modificaciones. 13p. Bogotá. Colombia.
- CARVAJAL, J. 2003. Documentación detallada del modelo de datos para la faceta de geomorfología. Documento INGEOMINAS preliminar, sometido a discusión y modificaciones. 48p. Bogotá. Colombia.
- CARVAJAL J. 2004. Visión integral de la geomorfología Colombiana. Resumen poster. Memorias del IX Congreso Colombiano de Geología. Medellín. Colombia.
- CARVAJAL, J. 2008. Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia. Documento inédito en preparación. 32 p.

- CARVAJAL, J. 2011. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Informe Servicio Geológico 71 p. Bogotá.
- ETAYO, F., D. BARRERO, and others. 1983. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Ingeominas – United States Geological Survey (USGS). Publicaciones especiales de Ingeominas, p. 235 + 1 mapa + 1 tab. Bogotá. Colombia.
- GOOGLE. 2013. Imágenes de satélite del Departamento de Santander, Colombia. Consulta: Julio de 2014, <http://earth.google.com>.
- IGAC. 2003. Estudio general de suelos y zonificación de tierras para el Departamento de Santander.
- IGAC. 2005. Hoja No 109-Rionegro escala 1:100.000. Subdirección de geografía y cartografía. Bogotá.
- INGEOMINAS, 2002. Metodología de cartografía geomorfológica con aplicación a zonificación geomecánica. Fase 1. Documento inédito y en revisión. Ingeominas. Bogotá. Colombia.
- JULIVERT, M., 1958. La Morfoestructura de la zona de mesas al SW de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología N° 1. p 7-44. Bucaramanga. Colombia.
- JULIVERT, M., BARRERO, D., BOTERO, G., DUQUE, H., *et al.* 1968. Léxico Estratigráfico Internacional: América Latina, Colombia. Unión Internationale Des Sciences Géologiques, p. 572. París. Francia.
- PARIS, G., MACHETTE, M. N., DART, R. L., HALLER, K. M. 2000. Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions, U.S Geological Survey. p 10. Denver, Colorado – Estado Unidos.
- ROYERO, J. y CLAVIJO, J. 2001. Memoria explicativa del mapa geológico generalizado del Departamento de Santander a escala 1:400000. INGEOMINAS. Bogotá. Colombia.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 2012. Propuesta Metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa Escala 1:100.000. Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental, 88p. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá-Colombia.

- SUTTON, F. A., 1946. Geology of the Maracaibo Basin, Venezuela: Am. Assoc. Petroleum Geologists, Bulletin. V. 30, p. 1621-1741.
- UIS. 2013. Tabla de recolección de datos de morfometría para la cartografía geomorfológica. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.
- VELASQUEZ, E. 1999. Contribution methodologique a la prise en compte du milieu physique dans la planification environnementale du territoire en zone montagnense de Colombie. Tesis de PHD. Université de Grenoble, 310 p. Francia.
- VERSTAPPEN, H.T.; VAN ZUIDAM, R.A. 1992. El sistema I.T.C. para levantamientos geomorfológicos. Publicación I.T.C. No 10. Villanueva de Huelva. Holanda.
- VILLOTA, H, 1991. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Subdirección de docencia e Investigación. 211p. Bogotá. Colombia.
- WARD, D., GOLDSMITH, R., CRUZ, J., RESTREPO, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona, Departamento de Santander. Ingeominas, Boletín Geológico, Vol. XXI (1-3). Bogotá. Colombia.
- WARD, D., GOLDSMITH, R., CRUZ, J., JARAMILLO, L., VARGAS, R. 1977. Geología del Cuadrángulo H13 Pamplona a escala 1:100.000. Ingeominas, Bogotá. Colombia.