

Caracterización de subunidades geomorfológicas a escala 1:25000 en el municipio de Durania (Norte de Santander, Colombia).

Characterization of geomorphological subunits at a scale of 1: 25000 in the municipality of Durania (Norte de Santander, Colombia).

Fabio Parra ^a

^a Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona, Colombia. E-mail: fabioparra1282@gmail.com

^b Departamento de Física y Geología, Universidad de Pamplona, Colombia.

Recibido: Enero, 2022. Revisado: Marzo -----, 2022. Aceptado: Marzo -----, 2022

Resumen

El planeta tierra debido a su dinámica externa e interna, está constituido por gran cantidad de diferentes geoformas, las cuales interpretadas apropiadamente pueden ser clasificadas de manera coherente. La presente investigación consta de un análisis de parámetros morfológicos y morfométricos aplicados al estudio geomorfológico. La zona de estudio está ubicada en el noreste del territorio colombiano y comprende el área total del municipio de Durania (Norte de Santander), la siguiente investigación se realizó aplicando la base de estandarización de cartografía geomorfológica propuesta por (1). La cartografía geomorfológica escala 1:25.000 del municipio de Durania, se logró mediante la revisión de información bibliográfica y cartográfica existente, el ajuste de la información geológica existente a escala 1:25.000 proporcionada por la Alcaldía de Durania [4], imágenes satelitales obtenidas a través del software gratuito Google Earth, el procesamiento de las imágenes satelitales obtenidas y los (DEM) resolución 12.5 m del satélite ALOS sistema PALSAR de la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón, JAXA fueron realizados mediante el software ArcGIS 10.6 dando como resultado la expresión del relieve generado por los mapas de sombras (Hillshade) y modelo de pendientes (Slope), consiguiendo extraer atributos morfométricos, morfológicos y morfogenéticos del relieve presente en el área de estudio, con los cuales se definieron junto con interpretación visual las unidades y subunidades geomorfológicas del área según los criterios de estandarización de [1]. Las unidades definidas corresponden a ambientes morfogenéticos de tipo estructural (96,6%) primordialmente debido al fuerte control estructural que atraviesa toda la zona de estudio, donde este es originado por el área de influencia del sistema de fallas pamplona - Chitagá (SFPC); De tipo denudacional en mucha menor medida (2,63%) en el noreste de la zona, debido a la presencia de fuertes procesos de erosión asociados a escorrentía superficial; de tipo fluvial (0,76%) en el oeste de la zona de estudio.

Palabras clave: geomorfología, morfometría, morfología, imágenes satelitales.

Abstract

The planet earth, due to its external and internal dynamics, is made up of a large number of different geoforms, which, properly interpreted, can be classified in a coherent way. This research consists of an analysis of morphological and morphometric parameters applied to the geomorphological study of a given area. The study area is located in the northeast of the Colombian territory and includes the total area of the municipality of Durania (Norte de Santander), the following The research was carried out by applying the standardization base of geomorphological cartography proposed by (1). The geomorphological cartography scale 1: 25,000 of the municipality of Durania, was achieved through the review of existing bibliographic and cartographic information, the adjustment of the existing geological information to scale 1: 25,000 provided by the Mayor's Office of Durania [4], the processing of the satellite images obtained and the 12.5m resolution (DEM) of the ALOS satellite system PALSAR of the Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA. and then analyze using ArcGIS 10.6 software. the expression of the relief generated by the shadow maps (Hillshade), slope model (Slope) and Google Earth, managing to extract morphometric, morphological and morphogenetic attributes of the relief present in the study area, with which the Geomorphological subunits of the area according to the standardization criteria of [1]. The units defined correspond to morphogenetic environments of a structural type (96.6%) primarily, due to the strong structural control that runs through the entire study area, where it is originated by the area of influence of the Pamplona - Chitagá fault system (SFPC) ; Denudational type to a much lesser extent (2.63%) in the northeast of the area, due to the presence of strong erosion processes associated with surface runoff; of fluvial type (0.76%) towards the western part of the area in which the Zulia river is its percussion.

Keywords: geomorphology, morphometry, satellite images. Morphology.

1 Introducción

La geomorfología se ha posicionado como una herramienta primordial para lograr evaluar y proyectar el comportamiento de los terrenos y su interrelación con obras de infraestructura, enfocado entre otros a planes de ordenamiento territorial y al análisis de manejo ambiental, como también en el estudio de amenazas naturales, ya que reconoce procesos que dan forma al paisaje, algunos de los cuales pueden poner en amenaza a la población [1].

Las tecnologías que proveen el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en conjunto con los modelos digitales de elevación (DEM) e imágenes satelitales, han permitido que el análisis geomorfológico sea estrechamente complementado con análisis morfométricos, logrando así cartografiar y analizar geoformas, fenómenos y procesos que dominan la dinámica terrestre de manera más rápida y eficiente en áreas más extensas de territorio [2].

Actualmente, existe escasez de información a nivel nacional acerca de los atributos morfológicos y subunidades geomorfológicas y, ya que Colombia presenta un alto grado de complejidad, resultado de una larga historia geológica y bioclimática, es por esto, que este tipo de investigaciones responde a la necesidad a nivel nacional de generar estudios, los cuales orienten al mejoramiento de Planes de Ordenamiento Territorial (POTs) y Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOTs).

La presente investigación caracterizó las subunidades geomorfológicas comprendidas en el municipio de Durania ubicado geográficamente al nororiente del territorio colombiano (Fig. 1); El área total de estudio abarca 177,40km² dentro de los cuales se encuentra las veredas Sepulturas, Santa Elena, El Cedro, Batatal, Buenavista, La Golondrina, La Cuchilla, Almendral, San Juan, Moretón, Hato Viejo, Tejarito, La Chuspa, El Líbano, El Inmenso, El Retiro, La Platanal, Cuajadoras.

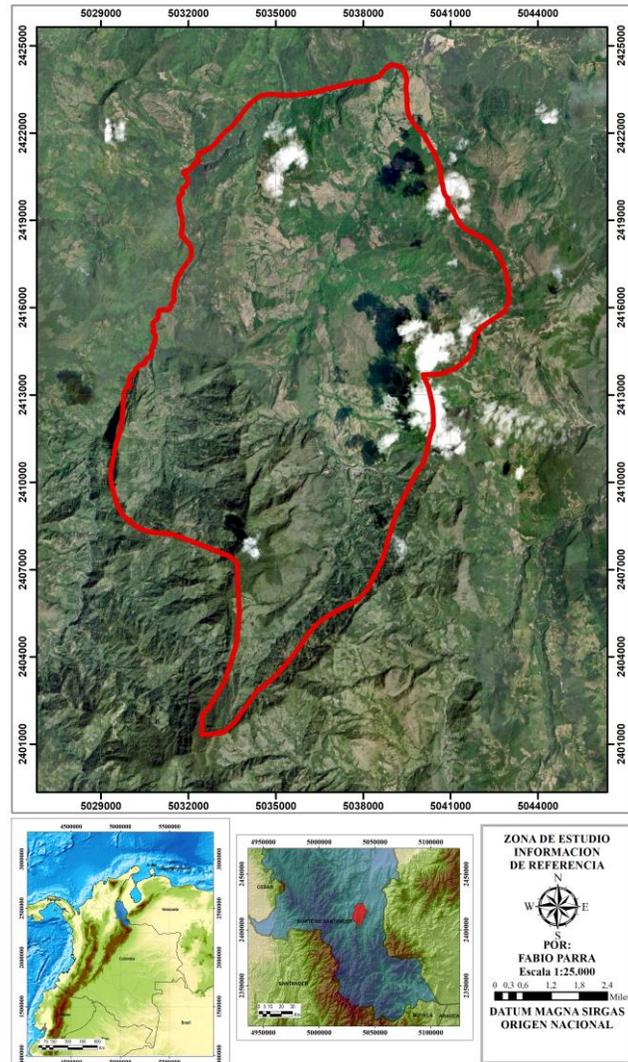


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio (enmarcada en rojo). Basado y modificado en imagen satelital BING MAPS a 20x y limites administrativos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Se encontraron tres (3) ambientes morfogenéticos (estructural, denudacional y fluvial) compuestos por 14 subunidades, de los cuales predominó el ambiente estructural (96,6%) y en menor proporción se encuentran el ambiente denudacional (2,63%) y ambiente fluvial (0,75%).

2 Metodología

A fin de caracterizar las subunidades geomorfológicas presentes en el área de estudio, se implementó una metodología de trabajo compuesta por cuatro (4) fases, las cuales se encuentran basadas en la propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos a escala 1:25000 de [1]. En estas fases se realizó recopilación, revisión e interpretación de diferente información existente

del área de estudio con fin de generar los insumos básicos, los cuales se usaron en conjunto con herramientas desarrolladas en SIG para extraer parámetros morfométricos y morfológicos del terreno, con los que finalmente se delimitaron las subunidades geomorfológicas presentes en el área.

Debido a la escala de este proyecto y siguiendo los parámetros de la jerarquización geomorfológica se trabajaron en concepto de unidades y subunidades, las cuales fueron definidas fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos.

2.1 Fase inicial

Esta fase se encuentra compuesta por dos etapas: la primera etapa consta de recopilación y revisión bibliográfica existente de diferentes fuentes de información como informes técnicos, artículos de revistas, libros, tesis, etc.; la segunda etapa constó en la obtención de los insumos básicos.

2.1.1 Recopilación y revisión bibliográfica

Se llevó a cabo una recopilación de información secundaria basada en artículos científicos, tesis e informes, además de trabajos de interés metodológico y temático (Ej. [1-3-4]), con el fin de obtener un marco de referencia acerca de la geología y geomorfología regional del área de estudio.

2.1.2 Obtención de insumos básicos

A continuación, se definen y describen los insumos básicos utilizados en la elaboración del mapa geomorfológico.

2.1.2.1 Modelo de elevación digital (DEM)

Los modelos de elevación digital (DEM) son capas raster donde la elevación se encuentra representada como píxeles cubriendo un área rectangular específica a una determinada escala. Los DEMs son utilizados en diferentes campos del conocimiento para elaborar mapas del relieve del terreno, modelos de sombras, pendientes, etc. [5]

El DEM utilizado en el presente estudio se obtuvo de la plataforma de la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) del satélite ALOS sistema PALSAR con una resolución espacial de 12.5m (Fig. 2)

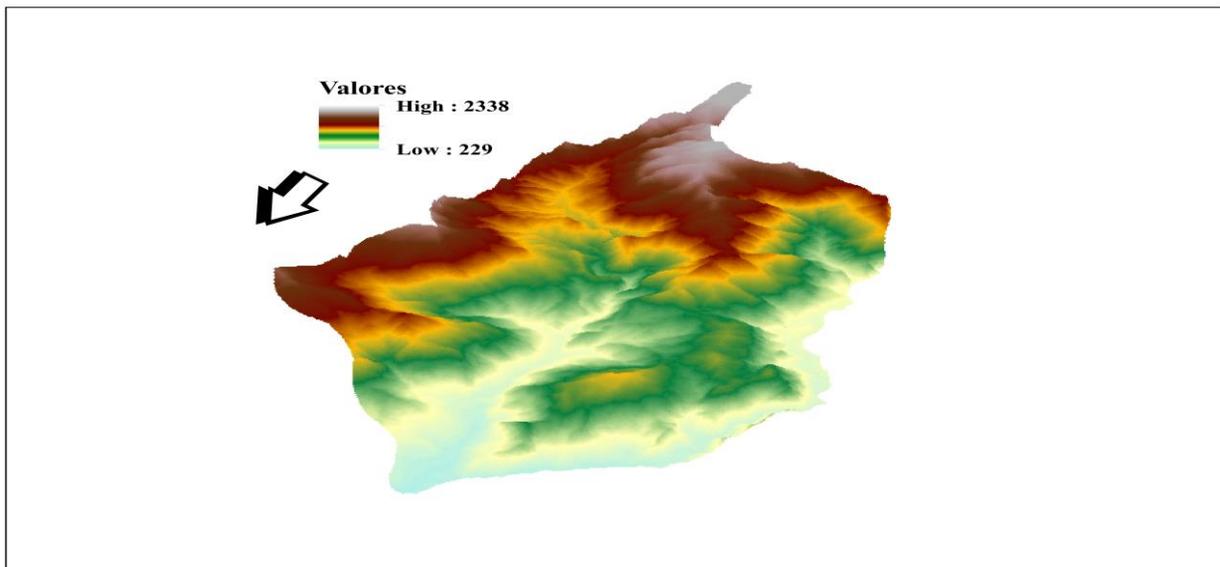


Figura 2. Modelo de elevación digital delimitado del área de estudio.

2.1.2.2 Mapa de sombras (Hillshade)

Éste es obtenido directamente del DEM, en el cual se observan las sombras que genera el relieve debido a la proyección de la luz desde un foco externo al modelo; para este caso el foco es la luz generada por la radiación solar con una dirección de azimut y un valor de altitud. Para el procesamiento del mapa de sombras del presente estudio (Fig. 3) se usó el software ArcGIS 10.6 y su herramienta “3D Analyst-HILSHADE”, con una proyección focal de 345° de azimut y un valor de altitud de 45°.

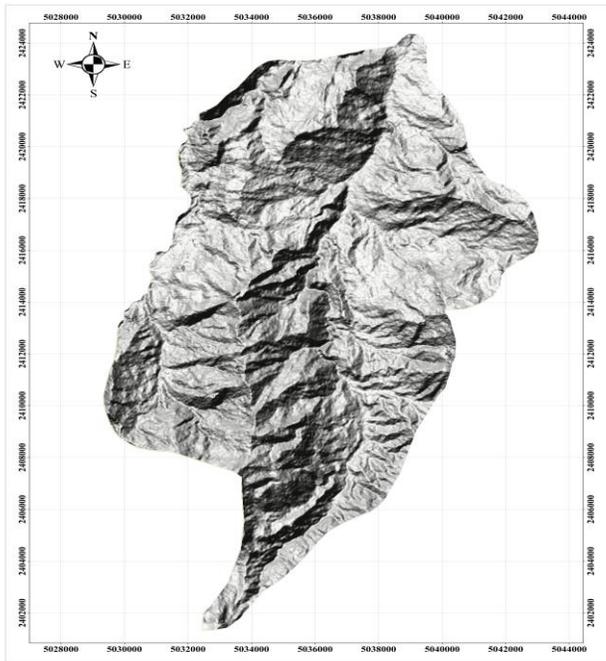


Figura 3. Mapa de sombras del área de estudio. Fuente: Autor

2.2 Fase de procesamiento

Durante esta fase, primeramente, se obtuvo el mapa de pendientes descrito en el capítulo 4.1 del presente documento, el cual sirvió como base para la definición de las unidades geológicas y geomorfológicas presentes en el área de estudio. Seguidamente, se procedió a realizar el análisis y ajuste de la información geológica existente a escala 1:25.000 proporcionada por la Alcaldía de Durania [4]; para ello, se analizó mediante el software ArcGIS 10.6. La expresión del relieve generado por los DEMs, Hillshade, modelo de pendientes (Slope) y Google Earth, con lo cual se verificó y/o modificó el contacto de las unidades geológicas y trazo de las fallas.

2.3 Fase de análisis

Una vez obtenida y procesada la información de las anteriores fases, la misma fue integrada a fin de extraer atributos morfométricos, morfológicos y morfogenéticos del relieve presente en el área de estudio, con los cuales se definieron junto con interpretación visual las subunidades

geomorfológicas del área según los criterios de estandarización de [1]. A continuación, se presentan dichos criterios

2.3.1 Morfogenesis

Estudia el origen y la evolución de las formas del terreno [6], dentro de esta rama se definen ambientes morfogenéticos los cuales aluden las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas en las cuales se generaron las geomorfos. Se determina con base en la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados, que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de estas [1].

Los ambientes morfogenéticos se agrupan de manera general en:

- Ambiente morfoestructural*
- Ambiente volcanico*
- Ambiente denudacional*
- Ambiente fluvial y lagunar*
- Ambiente antropogenico*
- Ambiente eolico.*
- Ambiente glacial y periglacial*
- Ambiente karstico*
- Ambiente marino y costero*

2.3.2 Morfología

El análisis morfológico del relieve incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales de una forma determinada del terreno [6]. Se relaciona con los aspectos de la geometría del relieve e incluye los gradientes topográficos y las formas del mismo descritos mediante adjetivos descriptivos y representativos

2.3.2.1 Forma de ladera

Refleja la uniformidad en la resistencia de los materiales, y la existencia o control de estructuras geológicas, También limita los tipos de movimientos en masa que pueden formarse en una ladera, Se puede relacionar los movimientos rotacionales a pendientes cóncavas y convexas y movimientos planares a pendientes rectas controladas estructuralmente o movimientos complejos a pendientes irregulares [1]. Los rangos se observan en la Tab.1.

Tabla 1. Tipos de forma de ladera. Fuente: [1]

Clase	Características material	Fenómenos de remoción en masa asociados
Recta	Alta resistencia y disposición estructural a favor de la pendiente	Mov. traslacional
Cóncava	Material blando y disposición estructural no diferenciado	Deslizamiento rotacional
Convexa	Materiales blandos y disposición estructural casi horizontal	Predomina meteorización y erosión.

Irregular o escalonada	Materiales con resistencia variada, Disposición estructural en contra de la pendiente Mezcla de materiales.	Caída de bloques, erosión diferencial
Compleja	Disposición estructural no definida	Deslizamientos complejos

2.3.3 Morfometría

Se basa en los aspectos cuantitativos en términos de medida de longitud, área, forma y pendiente. Los componentes del terreno para su descripción son:

2.3.3.1 Pendientes del terreno

Es el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, cuyo valor se expresa en grados de 0 a 90. La pendiente en parte es un factor importante en la ocurrencia de movimientos en masa en la medida en que se relaciona directamente con las tensiones de corte tangenciales y normales en los materiales superficiales, e influye también en la distribución de agua en la ladera [7]. Los rangos de las pendientes se observan en la Tab. 2.

Tabla 2. Rangos clasificatorios de pendientes. Fuente: [1]

Inclinación	Características material	Fenómenos de remoción en masa asociados
Recta	Alta resistencia y disposición estructural a favor de la pendiente	Mov. traslacional
Concava	Material blando y disposición estructural no diferenciado	Deslizamiento rotacional
Convexa	Materiales blandos y disposición estructural casi horizontal	Predomina meteorización y erosión.
Irregular o escalonada	Materiales con resistencia variada, Disposición estructural en contra de la pendiente Mezcla de materiales.	Caída de bloques, erosión diferencial
Compleja	Disposición estructural no definida	Deslizamientos complejos

2.3.3.2 Longitud de la ladera

Es un indicador de que las geoformas están constituidas de un mismo material; puede determinar una mayor superficie para el desarrollo de los procesos morfodinámicos [8], los rangos se observan en la Tab. 3.

Tabla 3. Índices de longitud de ladera. Fuente: [1]

Longitud (metros)	Descripción
<50m	Muy corta
50 – 250m	Corta
250 – 500m	Moderadamente larga
500 – 1000m	Larga
1000 – 2500m	Muy larga

>2500m Extremadamente larga

2.3.3.3 Contraste de relieve o relieve relativo

Es la diferencia de altura de la geoforma entre la parte más baja y la más alta de esta, independiente de la altura absoluta o nivel del mar [8]. Los rangos se observan tabla 4.

Tabla 4. Índices de contrastes de relieve. Fuente: [1]

Intervalos de altura	Descripción del relieve
<50m	Muy bajo
50 – 250m	Bajo
250 – 500m	Moderado
500 – 1000m	Alto
1000 – 2500m	Muy alto
>2500m	Extremadamente alto

3 Marco geológico

3.1 Geología estructural

El municipio de Durania se encuentra afectado al Este y Oeste por fallas inversas de cabalgamiento de dirección predominantemente N-S, y en la región norte y central por fallas de rumbo sinistral. A continuación, se describen los principales sistemas de fallas presentes en la zona de estudio.

3.1.1 Sistema de Fallas Pamplona – Chitagá (SFPC)

La Falla de Chitagá – Pamplona, se comporta de forma paralela a la Falla Morronegro en cercanías a los municipios de Bochalema y Don Juana, se comporta de forma sinistral y el trazo es marcado por escarpes y cambios bruscos de pendiente en ambos lados de la falla y alineación de cuchillas, Esta pone en contacto rocas precámbricas y jurásicas al este con rocas del cretáceo y terciario al oeste.

El sistema de Fallas Pamplona – Chitagá, con dirección norte-sur, pone en contacto rocas de la Formación Bocas al este con rocas Jurásicas y Cretácicas al oeste. En esta área el bloque este es levantado hacia el oeste y el rasgo geomorfológico predominante es un cambio de pendiente a lo largo de la falla [3].

3.2 Estratigrafía local

Esta sección reúne la estratigrafía de las rocas que afloran en la zona de estudio, ubicada sobre el flanco este de la Cordillera Oriental, en el departamento de Norte de Santander (Fig. 4). Esta recopilación tiene por objeto obtener un marco de referencia que permita realizar una interpretación completa de la información existente.

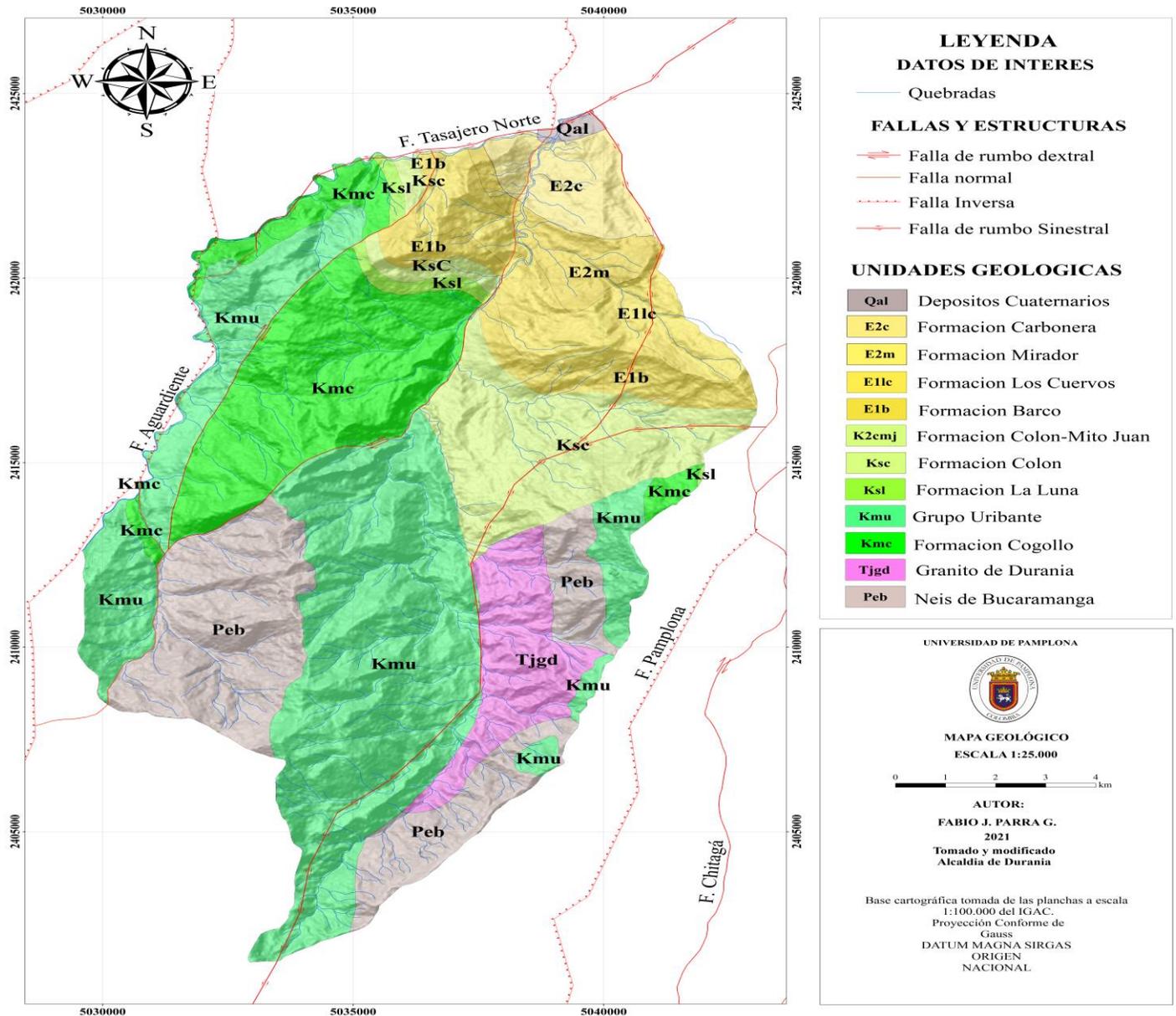


Figura 4. Mapa geológico a escala 1:25000 del Municipio de Durania. Tomado y modificado de [4]

En el municipio de Durania afloran rocas metamórficas de la Formación Neis de Bucaramanga (Peb), de edad precámbrica, aflorando al SW de la zona de estudio, consiste en “rocas meta sedimentarias de alto grado de metamorfismo, facie anfibolita de baja presión con retro-metamorfismo conformado por paragneis pelítico, semipelítico, así como esquistos y cantidades subordinadas de gneis calcáreos, mármoles, gneis horbléndicos y anfibolitas” [9 – 10].

Dentro de las rocas ígneas aflora la Formación Granito de Durania (Tjgd) hacia el SE en contacto fallado con el Grupo

Uribante (Kmu); esta se encuentra conformada por rocas ígneas del triásico, según Ward *et al.*, [11]: “Granito blanco moscovítico que forma plutones pequeños e intrusiones, y descrito como roca ígnea plutónica de color blanco, fanerítica de cristales medios, constituida por cuarzo, plagioclasas y moscovita y siendo clasificada por el mismo como Alaskita”.

Dentro del registro sedimentario, en el área de estudio se tienen rocas desde edad Cretácica hasta Cuaternaria. La sedimentación del Cretácico inicia con la denostación del Grupo Uribante (Kmu) [12], este grupo está conformado por las Formaciones Tibú, Mercedes y Aguardiente. En el área

de estudio han cartografiado estas formaciones como una sola unidad litoestratigráfica, debido a que la afinidad litológica no permite diferenciarlas [3 – 9 – 12].

La Formación La Luna (Ksl) fue reconocida por Notestein *et al.* [12] en el área de la Concesión Barco; en la zona de estudio fue cartografiada y descrita por Fuquen *et al.* [3]. Está constituida hacia la base por grandes paquetes de capas gruesas a delgadas, irregulares a lenticulares de caliza gris, dura, cristalina de grano fino que contiene láminas de shale calcáreo y abundantes concreciones elipsoidales calcáreas de color gris; hacia la parte superior consta de alternancia de capas delgadas, medias y algunas gruesas de biomicrota silicificada gris oscura, que contienen intercalaciones de arcillolitas, cherts diagenéticos grises y negros, y calizas lenticulares con foraminíferos diseminados, algunas presentan granos de cuarzo detrítico y zonas de concreciones calcáreas.

Las Formaciones Colón y Mito Juan en el área de estudio han sido cartografiadas por varios autores [3 – 9 – 12] como una sola unidad, Formación Colón-Mito Juan (K2cmj), debido a que la similitud en la litología y en las características de meteorización no permite cartografiar con certeza el límite entre estas dos formaciones. De la misma forma, Ward *et al.* [11] consideran que la Formación Catatumbo no es una unidad distinta entre el subyacente Mito-Juan (K2cmj) y la suprayacente Formación Barco (E1b) y, por consiguiente, lo consideran un miembro del primero.

El registro del Paleógeno al Neógeno está contenido en las unidades litológicas de las formaciones Barco (E1b), Los Cuervos (E1lc), Mirador (E2m) y Carbonera (E2c), en ellas se encuentra una sucesión sedimentaria esencialmente de carácter continental [4].

La Formación Barco fue referida originalmente por Notestein *et al.* [12] en el área de la Concesión Barco. En el área de estudio está compuesta por intercalaciones de arenisca, shale y arcillolita; las areniscas cuarzosas conforman la mitad a dos tercios de la unidad, son grises, arcillosas, de grano muy fino a medio, ligeramente conglomeráticas, con estratificación cruzada; los shales y arcillolitas son grises a gris oscuro, parcialmente limosos y carbonosos, con laminación plana paralela y subparalela.

La Formación Los Cuervos (E1lc) en el área de estudio, está constituida en su parte inferior por una sucesión de lodolitas grises, carbonosas, con delgadas intercalaciones de areniscas grises, localmente lodosas; la parte media por areniscas de grano fino, lodosas, grises, cuarzosas, localmente feldespáticas, con intercalaciones de lodolitas carbonosas y capas de carbón; y la parte superior por lodolitas grises, ligeramente micáceas, con fragmentos carbonosos y óxidos de hierro [3 – 9].

La Formación Mirador (E2m) de acuerdo con Ward *et al.* [11], está formada predominantemente por areniscas de cuarzo de grano fino a grueso, limpias, masivas, con capas delgadas conglomeráticas de guijos de cuarzo y estratificación cruzada. Se presentan algunas intercalaciones de shale y limolitas; hacia la parte media de la unidad, en algunos sectores se presenta un intervalo lodolítico espeso.

La Formación Carbonera (E2c) está conformada por lodolitas grises, micáceas, en capas gruesas, interestratificadas con cuarzoarenitas blancas y grises de grano fino y medio, ligeramente lodosas, micáceas, con óxidos de hierro, restos carbonosos e intraclastos de lodolitas; en la parte inferior presenta capas de carbón entre 40 y 80 cm de espesor [9].

La Formación León (E1lc) fue el término usado por Notestein *et al.* [12] para designar a las lutitas que afloran en la quebrada León, tributaria del río Zulia. Corresponde a una secuencia monótona de lutitas grises, grises-verdosas y negras, limosas, micáceas, carbonosas, con algunos niveles ferruginosos; en ocasiones intercaladas con areniscas de cuarzo, grises, de grano fino a medio, en capas medianas a gruesas.

Finalmente, durante el Cuaternario se dio la sedimentación de depósitos recientes que cubren discordantemente a las rocas Cretácicas principalmente. Estos depósitos denominados Qall, se encuentran compuestos por gravas redondeadas embebidas en una matriz arenosa, producto de la dinámica fluvial del Río Zulia y la Quebrada La Lejía.

4 Resultados

4.1 Mapa de pendientes

Principalmente, la pendiente es definida como el ángulo que se genera entre la superficie del terreno, en cualquier punto con respecto a la horizontal, siendo caracterizada como mínimo valor 0° y máximo 90°, se puede relacionar directamente con los movimientos de masa, se presenta una relación directamente proporcional entre el aumento del ángulo de inclinación con respecto a la probabilidad de generación de movimientos en masa [6].

Para la generación del mapa de pendientes se hizo uso del software ARGIS 10.3, en el cual en la función *slope* se ingresó el modelo de elevación digital (DEM) del área de estudio, seleccionando la opción grados (degree) y la geodatabase (GDB) donde se guardó el archivo generado. Además, al resultado obtenido se le realizó una nueva división (Fig. 5) basada en siete (7) clases (Tab. 5) siguiendo la propuesta de clasificación de [1].

Figura 5. Procesamiento de nueva clasificación de valores de pendiente según [1].

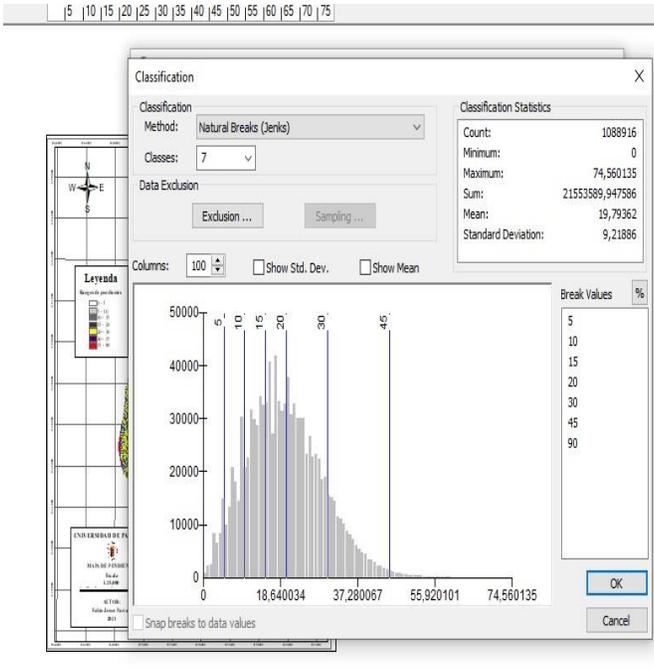


Tabla 5. Valores de pendientes, su área y porcentaje en el área de estudio. Fuente: Autor.

Descripción	Valores (°)	Área (km ²)	Porcentaje
Plana o suavemente inclinada	0-5	2,31	1,36%
Inclinada	6-10	15,31	9,1%
Muy inclinada	11-15	26,93	15,83%
Abrupta	16-30	33,84	19,89%
Muy abrupta	21-30	70,81	41,62%
Escarpada	31-45	19,97	11,74%
Muy escarpada	45 - máx	0,94	0,55%

Al final se obtuvo un mapa, subdividido por el grado de pendiente (Fig. 6), partiendo de plana o suavemente inclinada hasta muy escarpada, dividida en 7 clases, de manera ascendente de cero (0) hasta noventa (90) que es proporcional al grado de inclinación.

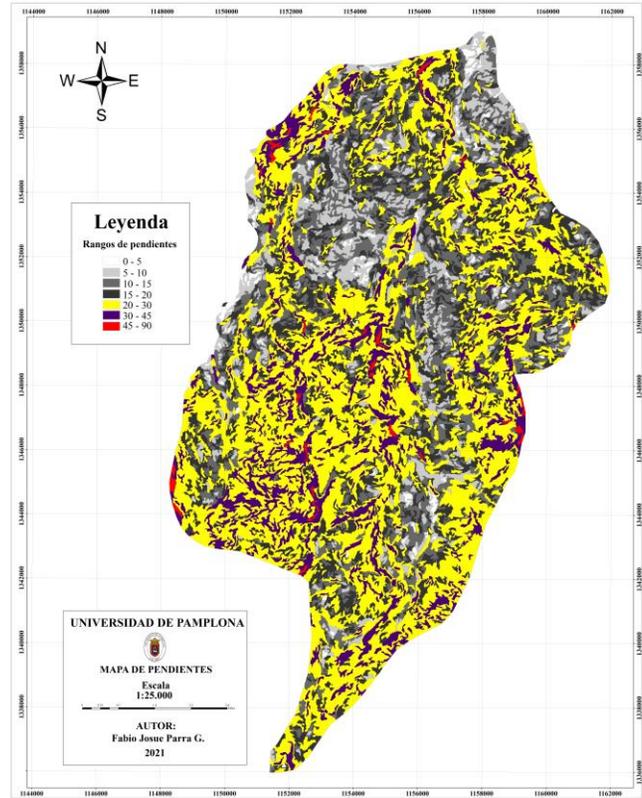


Figura 6. Mapa de pendientes de la zona de estudio (Tomado y modificado del DEM resolución 12.5m del satélite ALOS sistema PALSAR de la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón, JAXA)

Mediante el procesamiento de la información se obtuvo que en general el municipio de Durania como se observa en la Fig. 6 presenta un relieve predominantemente muy abrupto en un rango de 21-30° cubriendo un área de 70,81km² y un porcentaje de 41,62%, además de presentar un relieve abrupto cubriendo un área de 33,84km² con un porcentaje de 19,89% del total del área.

4.2 Geomorfología

La región del municipio de Durania, se encuentra localizada dentro de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental. La cual se caracteriza por ser una región quebrada con pendientes que oscilan entre los 3° y 85°, alturas de difícil acceso y grandes cañones propios de la acción denudativa de los ríos en un cinturón plegado y levantado como lo es la Cordillera Oriental, a su vez se pueden diferenciar 2 subregiones: el macizo de Santander y la cobertura sedimentaria plegada, generando una gran variedad de climas dentro del patrón general ecuatorial.

La morfología de la zona de estudio y la génesis está definida principalmente por tres ambientes geomorfológicos básicos como se observa en la Fig. 7: ambiente morfoestructural, denudacional y fluvial.

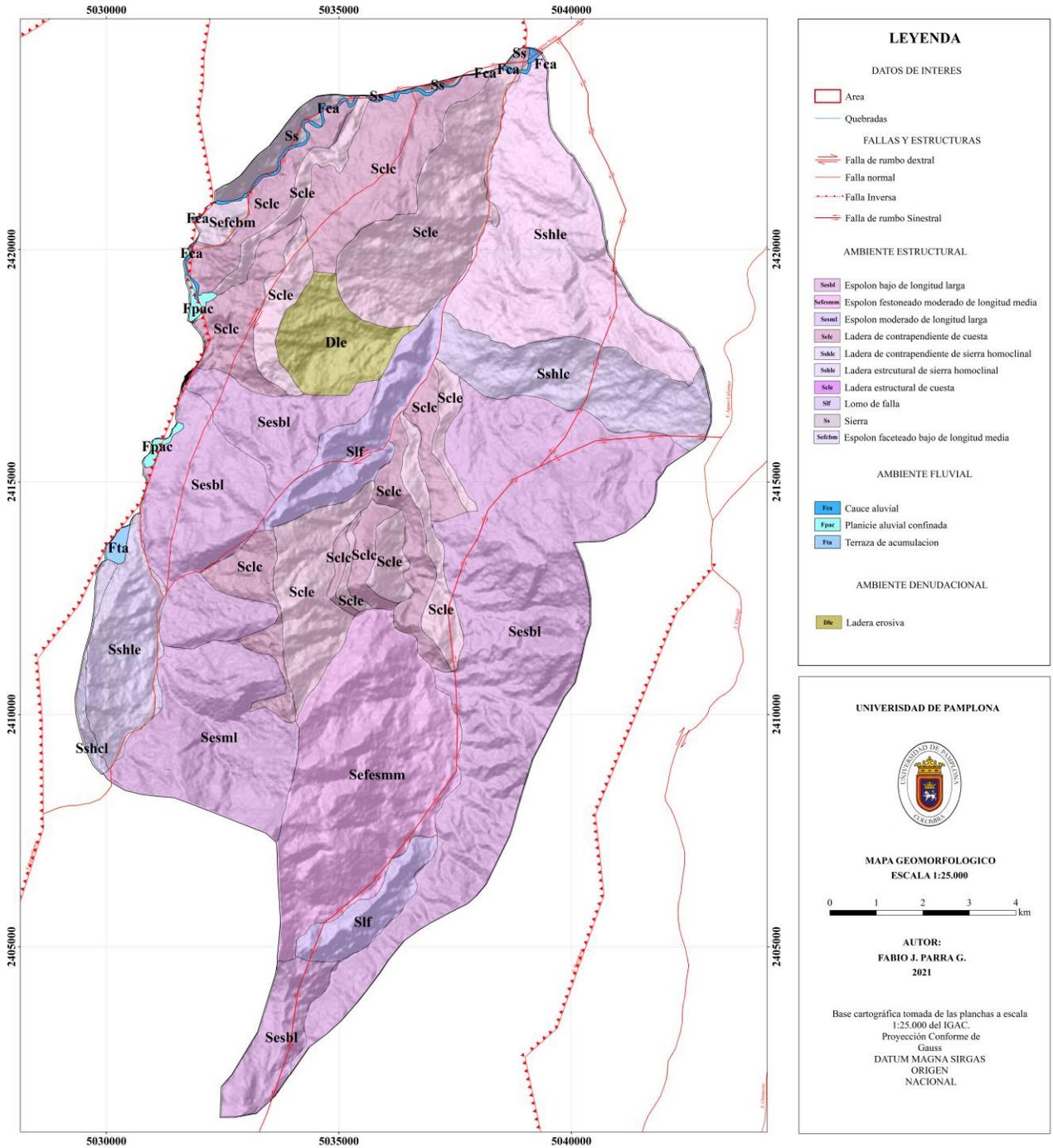


Figura 7. Mapa geomorfológico a escala 1:25000 del área de estudio.

A continuación, se describen catorce (14) unidades y subunidades geomorfológicas identificadas en la región del municipio de Durania, diez (10) de origen estructural, uno (1) de origen denudacional, y tres (3) de origen fluvial (ver Tab. 6).

Tabla 6. Unidades y subunidades del área de estudio. Fuente: Autor.

Ambiente	Área ambiente (km ²)	Porcentaje área (%)
Estructural	164,49	96,6

Denudacional	4,48	2,63
Fluvial	1,28	0,76
Total	170,2	100 %

4.2.1 Ambiente estructural

El ambiente estructural está representado mediante las geofomas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, definiéndose por la litología y asociándose directamente a fallamientos y plegamientos de las rocas, cuya expresión geomorfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades, a pesar de presentar afectacion posteriores por procesos de denudacion.

En el municipio de Durania, predominan expresiones geomorfológicas de origen estructural, todo esto debido al fuerte control tectónico de la zona. Estas unidades y subunidades geomorfológicas se han definido además por litología y la disposición estructural de las rocas y que aún conservan rasgos claros de las estructuras originales.

Se presenta un mapa de sectorización, para definir el ambiente estructural y su zona ocupada en el área de estudio, áreas de amplia extensión y distribuidas a lo largo de toda la zona de estudio. (ver Figura 8). El ambiente morfoestructural se dividió en la totalidad de sus unidades y subunidades geomorfológicas, en las cuales se ordenó por la extensión de área en km² y porcentaje (%), con respecto a la totalidad del área que ocupa el ambiente, los datos se encuentra plasmados en la (Tabla 7)

A continuación, se muestra de manera resumida cada una de las 10 subunidades y unidades geomorfológicas morfoestructurales; definidas por sus rasgos morfológicos y morfométricos, distribuidas sobre casi la totalidad de la zona de estudio.

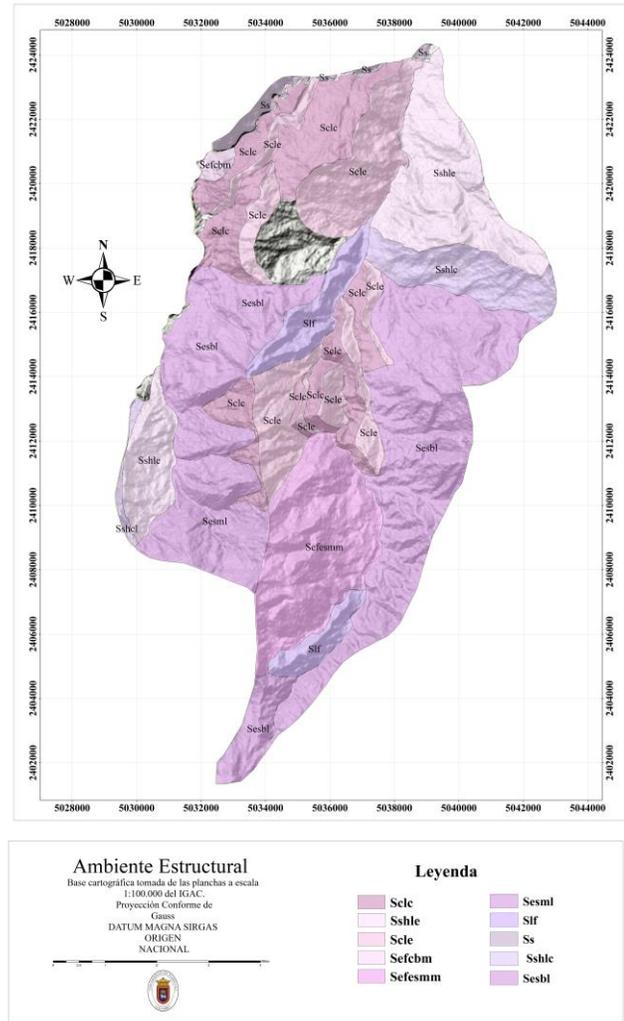


Figura 8. Mapa de distribución geográfica del ambiente estructural en el área de estudio. Fuente: Autor

Tabla 7. Unidades y subunidades geomorfológicas estructurales por área y porcentaje. Fuente: Autor.

Codigo	Subunidad	Area (km ²)	Porcentaje (%)
Scle	Ladera estructural de cuesta	23,2	14,19
slf	Lomo de falla	7,83	4,79
sfesmm	Espolon festoneado moderado de longitud media	18,11	11,07
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	21,21	13
Sefcbm	Espolon facetado bajo de longitud media	0,795	0,48
Sesbl	Espolon bajo de longitud larga	50,76	31,04

Scle	Ladera de contrapendiente de cuesta	20,99	12,82
Sesml	Espolón moderado de longitud larga	11,16	6,82
Ss	Sierra	1,49	0,91
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	7,99	4,89
Total		163,53	100

4.2.1.1 Ladera estructural de cuesta (scle)

Superficie con estratos dispuestos a favor de la pendiente, cuya inclinación puede variar entre 15°- 30°, de longitud larga, de forma recta a irregular, con pendientes inclinadas, relacionada a una estructura de cuesta [8].

Se localizan hacia el norte de la zona de estudio, más precisamente al este de la vereda el Libano y la vereda Hato viejo. Sobre rocas del grupo Uribante (fms. Tibu, Mercedes, Aguardiente) (Figura 11)

4.2.1.1 Ladera de contrapendiente de cuesta (Scle)

Superficie subvertical muy corta a corta, de forma irregular o escalonada, de pendiente muy escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno [8].

Se localizan hacia el norte de la zona de estudio, más precisamente al este de la vereda el Libano y la vereda Hato viejo. Sobre rocas del grupo Uribante (fms. Tibu, Mercedes, Aguardiente) (Figura 9)



Figura 9. Ladera estructural de cuesta (scle) y ladera de contrapendiente de cuesta (Scle). Ubicadas al este de la vereda el Libano. Fuente: Google Earth.

4.2.1.2 Espolón bajo de longitud larga (Sesbl)

Saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, desarrollados sobre rocas ígneas de la formación granito de Durarúa y limitado por drenajes paralelos a subparalelos, con laderas de longitudes variables, con pendientes que se ven reducidas de abruptas a inclinadas por intensos procesos denudativos [8]. El relieve relativo es de entre 80 m y 150 m, y la longitud del eje principal del espolón es entre 1000 m y 1350 m.

Se localiza hacia el sur-este de la zona de estudio, más precisamente al sur de la vereda el Cedral, sobre rocas ígneas de la formación granito de Durania y rocas metamórficas de la formación gneis de Bucaramanga (Figura 10).

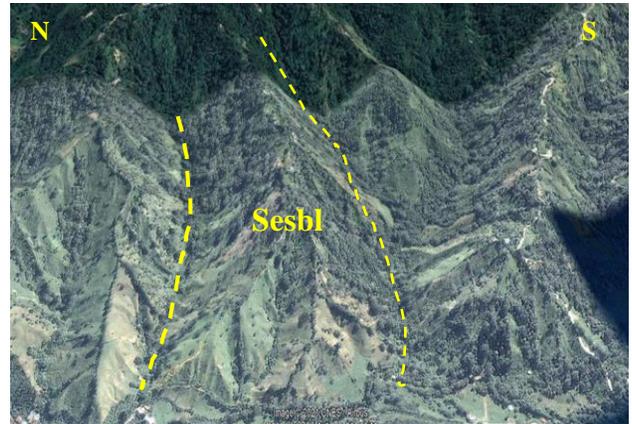


Figura 10. Espolón bajo de longitud larga (Sesbl), ubicada en la vereda el Cedral. Fuente: Google Earth

4.2.1.3 Espolón moderado de longitud larga (Sesml):

Saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, desarrollados sobre rocas metamórficas de la formación Gneis de Bucaramanga y limitado por drenajes paralelos a subparalelos. Con laderas de longitudes variables, con pendientes que se ven reducidas de abruptas a inclinadas por intensos procesos denudativos [8]. El relieve relativo está entre 250 y 300 m y la longitud del eje principal del espolón esta entre 1000 m y 1500 m. (Figura 11)

Se localiza en el sur-este de la zona de estudio, más específicamente al este de la vereda Cuajadoras.

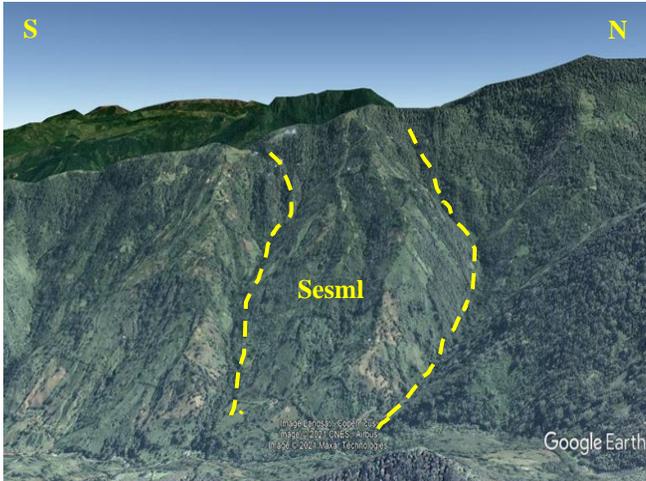


Figura 11. Espolón moderado de longitud larga (Sesml), ubicado al este de la vereda Cuajadoras. Fuente: Google Earth.

4.2.1.4 Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle):

Superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente, con una longitud larga, de forma recta y pendientes escarpadas a muy escarpadas, relacionada a una estructura homoclinal [8].

Se localiza en el sur-oeste de la zona de estudio, más específicamente al oeste de la vereda Cuajadoras. Sobre rocas sedimentarias del grupo Uribante (fms. Tibu, Mercedes, Aguardiente). (Figura 12).



Figura 12. Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle), ubicada al oeste de la vereda Cuajadoras. Fuente: Google Earth.

4.2.1.5 Lomo de falla (slf)

Prominencia topográfica de morfología alomada, con laderas cortas, forma convexa y pendiente abrupta, localizados a lo largo de una falla de rumbo y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que determina la expulsión de un bloque de terreno [8].

Localizada en la zona central de la zona de estudio, más específicamente al sur-este de la vereda Hato viejo. Sobre rocas sedimentarias de la formación cogollo y del grupo Uribante (fms. Tibu, Mercedes, Aguardiente). (Figura 13)

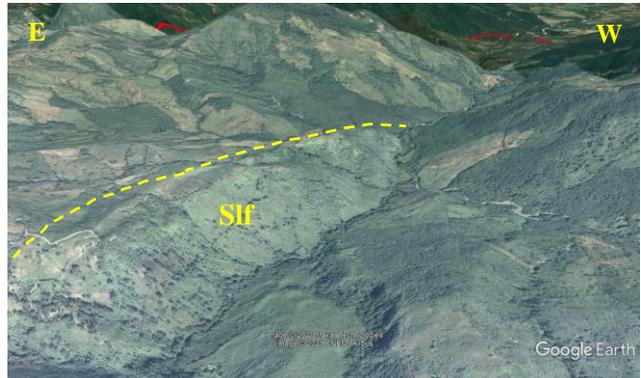


Figura 13. Lomo de falla (slf), ubicado al sur-este de la vereda Hato viejo. Fuente: Google Earth.

4.2.1.6 Espolón festoneado moderado de longitud media (Sefesmm)

Laderas y crestas simétricas de morfología alomada, cimas agudas dispuestas perpendicularmente al rumbo de las estructuras geológicas y que definen salientes cortas y largas, sobre rocas de distinto origen. Las pendientes varían entre muy inclinadas a muy abruptas, con formas rectas y cóncavas. Entre los entallamientos eventualmente se generan pequeños movimientos de tierras y flujos donde los suelos se encuentran saturados [8]. La particularidad de esta unidad radica en que el relieve relativo varía entre 500 m y 1000 m y la longitud del eje principal del espolón varía entre 300 m y 1000 m.

Localizado en el sur-oeste de la zona de estudio, más específicamente al este de la vereda el Cedral. Sobre rocas sedimentarias pertenecientes al grupo Uribante (fms. Tibu, Mercedes, Aguardiente). (Figura 14).

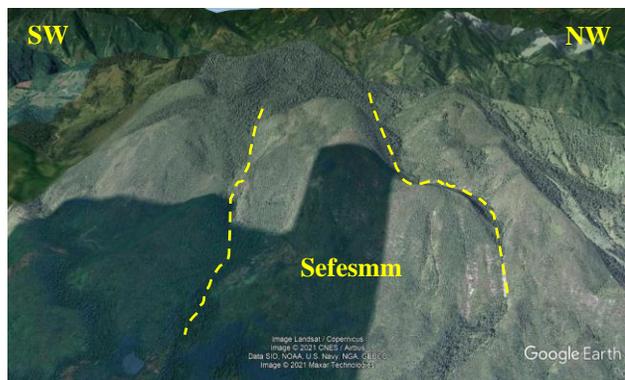


Figura 14. Espolón festoneado moderado de longitud media (Sefesmm), ubicado al este de la vereda el Cedral. Fuente: Google Earth.

4.2.1.7 *Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)*

Superficie vertical a subvertical, larga, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una sierra homoclinal [8].

Localizada en la zona nordeste de la zona de estudio, sobre rocas sedimentarias de la formación Barco. (Figura 15).

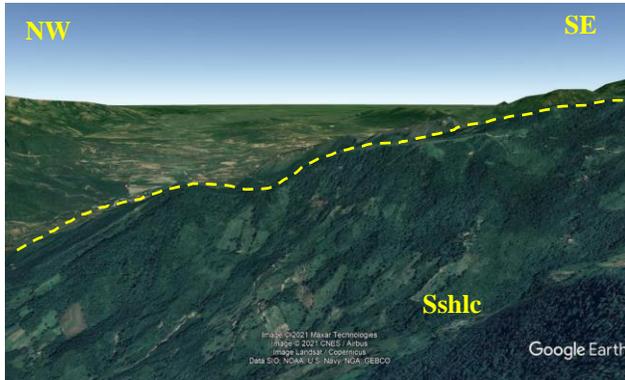


Figura 15. Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc). Fuente: Google Earth.

4.2.1.8 *Sierra*

Prominencia topográfica elongada de morfología montañosa, de cimas o crestas redondeadas [8].

Localizada en el límite nordeste de la zona de estudio, más específicamente al oeste de la vereda Hato viejo. (Figura 16).



Figura 16. Sierra, ubicada al oeste de la vereda Hato viejo. Fuente: Google Earth

4.2.1.9 *Espolón facetado bajo de longitud media (Sefcbm)*

Saliente natural que en conjunto conforma sierras colinadas que se desprenden de estructuras mayores. Es

producto de fallamiento inverso y de rumbo que generan truncamientos a manera de facetas triangulares. La forma predominante es colinada con laderas de pendiente inclinada a abrupta [8]. La particularidad de esta unidad radica en que el relieve relativo es de 245 m y la longitud relativa del eje principal del espolón es de 400m.

Localizado en el noroeste de la zona de estudio, más específicamente al oeste de la vereda Hato viejo. Sobre rocas sedimentarias de la formación Cogollo. (Figura 17).



Figura 17. Espolón facetado bajo de longitud media (Sefcbm), ubicado al oeste de la vereda Hato viejo, a las orillas del cauce del río Zulia. Fuente: Google Earth.

4.2.2 *Ambiente Aluvial*

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

En el municipio de Durania, estas geoformas se generan a partir de material erosionado de las regiones montañosas localizadas a lo largo de toda la zona de estudio, que ha sido transportado por las quebradas como la Lejía que finalmente desembocan en el río Zulia.

Se presenta un mapa de sectorización, para definir el ambiente estructural y su zona ocupada en el área de estudio, áreas de amplia extensión y distribuidas a lo largo de toda la zona de estudio. (ver Figura 18). El ambiente aluvial se dividió en la totalidad de sus unidades y subunidades geomorfológicas, en las cuales se ordenó por la extensión de área en km² y porcentaje (%), con respecto a la totalidad del área que ocupa el ambiente, los datos se encuentran plasmados en la (Tabla 8).

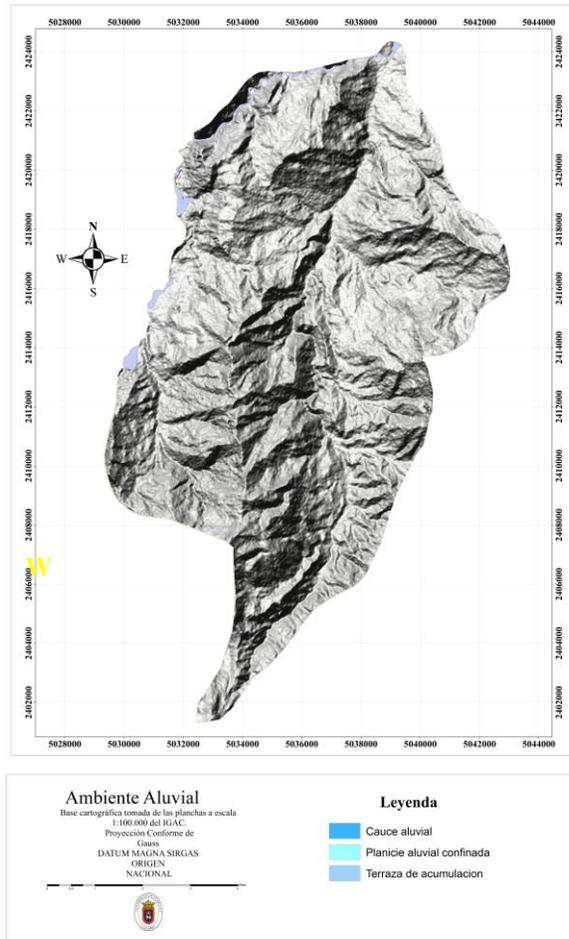


Figura 18. Mapa de distribución geográfica del ambiente fluvial en el área de estudio. Fuente: Autor

Tabla 8. Unidades y subunidades geomorfológicas aluviales por área y porcentaje. Fuente: Autor.

Codigo	Subunidad	Area (km ²)	Porcentaje (%)
Fca	Cauce aluvial	0,42	33
Fpac	Planicie aluvial confinada	0,59	46
Fta	Terraza de acumulacion	0,267	21
	Total	1,28	100

4.2.2.1 Cauce aluvial (Fca)

Cauce aluvial (Fca): Canales de forma irregular excavados por corrientes perennes, dentro de macizos rocosos y que dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias [8].

Dependiendo la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas

anastomosados y mandriformes, y con ello otras unidades asociadas. A pesar de que toda la zona central del municipio de Durania esta atravesada por la quebrada la lejia, solo es hacia el limite oeste del municipio, en el rio zulía donde se presenta esta unidad cartografiable. (Figura 22)

4.2.2.2 Planicie aluvial confinada (Fpac)

Planicie aluvial confinada (Fpac): Franjas de terreno de morfologías planas y muy angostas eventualmente inundable, en forma de “U”, limitados por sierras estructurales, que bordean los cauces fluviales los cuales se observa el estrangulamiento o estrechamiento del mismo [8].

Localizada al oeste de la zona de estudio, estando relacionada de manera directa con el cauce aluvial del rio zulía.(Figura 19)

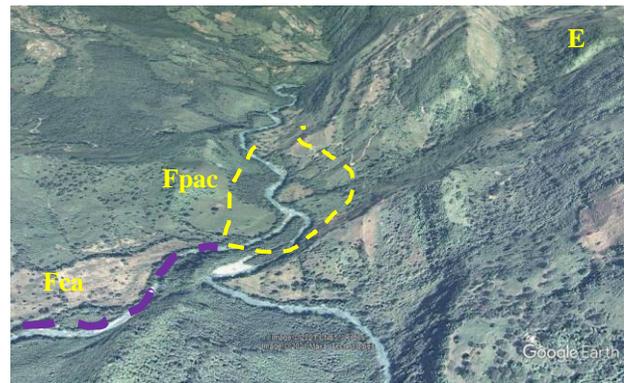


Figura 19. Planicie aluvial confinada (Fpac) y cauce aluvial (Fca), ubicada al oeste de la vereda Cuajadoras. Fuente: Google Earth

4.3.2.3 Terraza de acomulacion (Fta)

Planos elongados de morfología plana a suavemente ondulada y modelada sobre sedimentos aluviales, que se presentan en forma pareada a lo largo del cauce de un río al cual limitan por escarpes de diferente altura. Su origen está relacionado con procesos de erosión y acumulación aluvial dentro antiguas llanuras de inundación, por donde fluye un corriente [8]. La formación de estas terrazas incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Estas terrazas pueden hacer parte de cauces rectos o meándricos, siendo los primeros muchas veces asociados a control estructural. Se constituyen de gravas arenas, limos y arcillas, cuyo tamaño va disminuyendo a medida que se aleja del cauce del río.

Localizada en el sur oeste de la zona de estudio, estando relacionada con el cauce aluvial del rio zulía. (Figura 20)



Figura 20. Terraza de acumulacion (Fta), ubicada sobre el rio zulua. Fuente: Google Earth

4.2.3 Ambiente denudacional

Son geoformas donde su expresión morfológica la define la acción de procesos, intensos a moderados, de meteorización, erosión y transporte, de origen gravitacional y pluvial, que remodelan dejando remanentes de las unidades o subunidades previas y generando nuevas unidades por acumulación de sedimentos.

El municipio de Durania no presenta una morfología denudacional tan marcada, en la que los rasgos denudacionales prevalezcan sobre el origen estructural de las geoformas.

A continuación, se muestra la subunidad geomorfológica denudacional definida por sus rasgos morfológicos y morfométricos dispuesta en el noreste de la zona de estudio.

Se presenta un mapa de sectorización, para definir el ambiente estructural y su zona ocupada en el área de estudio. (ver Figura 21). El ambiente denudacional se dividió en la totalidad de sus unidades y subunidades geomorfológicas, en las cuales se ordenó por la extensión de área en km² y porcentaje (%), con respecto a la totalidad del área que ocupa el ambiente, los datos se encuentra plasmados en la (Tabla 8).

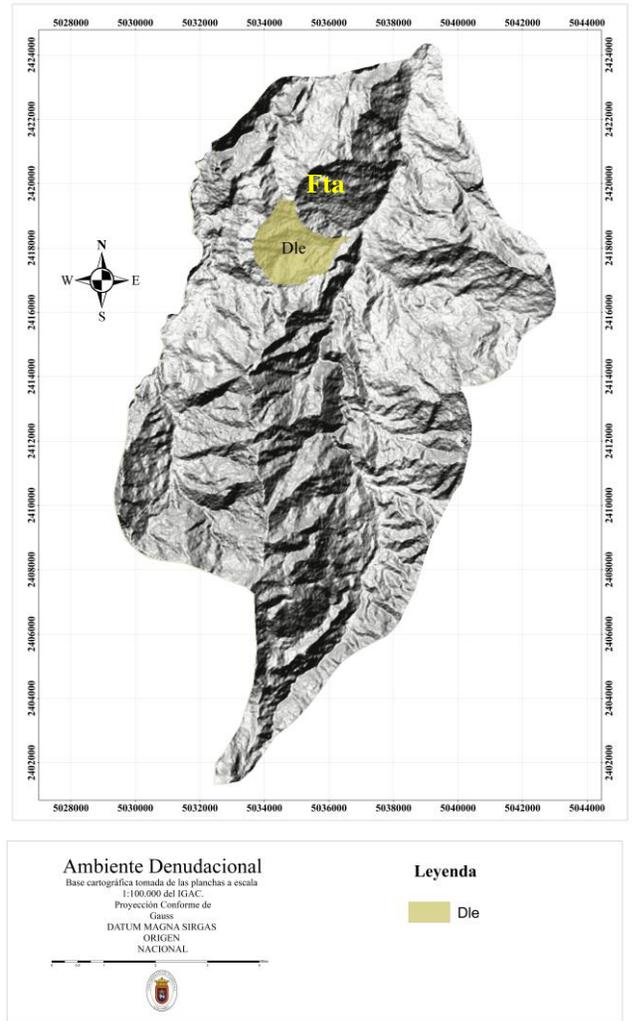


Figura 21. Mapa de distribución geográfica del ambiente denudacional en el área de estudio. Fuente: Autor

Tabla 9. Unidades y subunidades geomorfológicas denudacionales por área y porcentaje. Fuente: Autor.

Codigo	Subunidad	Area (km ²)	Porcentaje (%)
Dle	Ladera erosiva	4.48	100
	Total	4,48	100

4.2.3.1 Ladera erosiva (Dle)

Corresponde a superficies del terreno de pendientes escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico [8]. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas y surcos, sobre materiales de suelo o roca.

Localizado al noreste de la zona de estudio, mas específicamente en la vereda Hato viejo. Sobre rocas sedimentarias pertenecientes a la formacion Cogollo. (Figura 22)

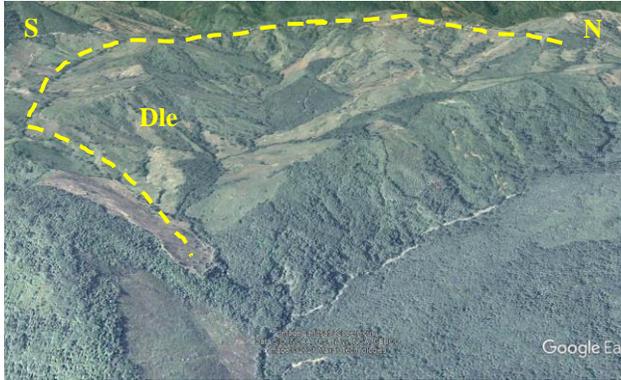


Figura 22. Ladera erosiva (Dle), ubicada en la vereda Hato viejo. Fuente: Google Earth.

4.3 Conclusiones

Las imágenes satelitales, combinadas con herramientas de sistemas de información geográfica (sig), constituyen un instrumento capaz de generar una base sólida para la investigación, recopilando y facilitando al alcance de la mano datos que difícilmente se podrían obtener en campo y que unido al conocimiento de las ciencias de la tierra, da como resultado estudios cada vez más cercanos a la realidad geológica.

Las pendientes que predominan en la zona de estudio son las muy abruptas (21-30°) y el relieve abrupto (16-30°) cubriendo un área de 70,81 km² (41,6%) y 33,84 km² (19,8%) respectivamente en el area total del municipio de Durania, Norte de Santander.

En el área total del municipio de Durania, se presentan diferentes ambientes geomorfológicos, que son generados por factores endógenos (presión, temperatura y esfuerzos) y exógenos (erosión, meteorización y transporte), encargados de dar forma y un aspecto característico a la superficie actual del terreno. Se identificaron 3 ambientes morfogenéticos: Estructural (96%), Denudacional (2,6%), Fluvial (0,76%). Cada uno de ellos representados con su debida área y distribuidos heterogéneamente en el área de estudio.

Los ambientes en el municipio de Durania con mayor porcentaje de área, es el estructural. Esto como resultado de los procesos tectónicos presentes en el Macizo de Santander. Donde estructuras mayores como fallas dan forma geométrica a la superficie del terreno, con acción de procesos denudativos en superficie, pero que no llegan a opacar los claros rasgos estructurales de las principales geformas.

La unidad más representativa en el municipio de Durania y con mayor porcentaje de área, corresponde a espolon bajo de longitud larga (Sesbl), distribuidas principalmente en la parte sureste de la zona de estudio

Referencia

- [1] Carvajal, H. (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. SGC., Bogotá
- [2] Bishop, M., Allan, L., Shroder, J. & Walsh, S. (2012). Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: concepts, issues and research. *Geomorphology*, (137), 5-26.
- [3] Fuquen, J., Ceballos, L., Marín, E., Patiño, A., & Pedraza, A. (2011): Geología de las planchas 98 – Durania y 99 – Villa del Rosario, Norte de Santander – Colombia. Escala 1:100.000. 119 p. INGEOMINAS, Bogotá.
- [4] Alcaldía de Durania, (2015). Esquema de Ordenamiento Territorial municipal 125 p. 68-69: Norte de Santander- Colombia
- [5] Calvache, M., Ruiz, G., Arevalo, L., Leyva, O., Moya, H., Trejos, G., Ortegón, C., Bello, E Alvarado, C., Sandoval, J & Alvarado, A. (2012). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimiento en masa escala 1:100.000. SGC.31p. Bogotá.
- [6] Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. IGAC – Subdirección de docencia e Investigación. Bogotá.
- [7] Servicio Geológico Colombiano [SGC], (2017). Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa. Escala 1: 25.000
- [8] Servicio Geológico Colombiano [SGC], (2012). Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la zonificación de amenazas por movimientos en masa Escala 1:100.000. Bogota D.C. 88p.
- [9] Royero, G, y Clavijo, J., (2001). Mapa Geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1: 100.000. Informe. INGEOMINAS
- [10] Clavijo, J. (2001). Mapa geológico generalizado del Departamento de Santander. Escala 1:400.000. INGEOMINAS. Memoria explicativa, 92 p. Santa Fe de Bogotá.
- [11] Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C., Restrepo, H., (1973). Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. U.S. Geological Survey e INGEOMINAS. Boletín Geológico vol. XXI.
- [12] Notestein, F, Hubman, C & Bowler, J. (1944). Geology of the Barco Concession Colombia. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 55, pp. 1165-1216.