

**INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y  
ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM**

**SUBDIRECCIÓN DE ECOSISTEMAS E INFORMACIÓN AMBIENTAL**

***GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS  
GEOMORFOLÓGICOS A ESCALA 1:100.000***



**BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2013**



**INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS  
AMBIENTALES – IDEAM**

**SUBDIRECCIÓN DE ECOSISTEMAS E INFORMACIÓN AMBIENTAL**

**GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS  
GEOMORFOLÓGICOS A ESCALA 1:100.000**

**AUTORES**

**ING. GEÓGRAFO: KIM G. ROBERTSON**

**OMAR JARAMILLO (Geógrafo)**

**MIGUEL A. CASTIBLANCO (Geógrafo)**

**BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2013**

## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.1 Antecedentes .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1.2 Justificación .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1.3 Objetivos generales y específicos.....</b>                                   | <b>7</b>  |
| <b>1.4 Alcances .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2. MARCO CONCEPTUAL.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>2.1 Enfoques geomorfológicos.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>2.2 Marco teórico general.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2.3 Consideraciones generales para el mapa geomorfológico.....</b>               | <b>16</b> |
| <b>3. PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN JERARQUIZADA.....</b>                              | <b>17</b> |
| <b>3.1 Propuesta General .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>3.2 Ambientes geomorfológicos.....</b>   | <b>19</b> |
| 3.2.1 Ambiente Estructural .....  | 19        |
| 3.2.2 Ambiente Volcánico .....  | 20        |
| 3.2.3 Ambiente Denudacional.....  | 21        |
| 3.2.4 Ambiente Glacial.....   | 23        |
| 3.2.5 Ambiente Fluvial .....  | 24        |
| 3.2.6 Ambiente Marino.....  | 27        |
| 3.2.8 Ambiente Cárstico.....  | 29        |
| 3.2.7 Ambiente Eólico.....  | 29        |
| 3.2.9 Ambiente Antrópico.....   | 31        |
| <b>4. FASES DEL LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO .....</b>                              | <b>32</b> |
| <b>4.1 Fase 1: Selección de Información Básica .....</b>                            | <b>34</b> |
| <b>4.2 Fase 2: Constitución de la base de datos .....</b>                           | <b>36</b> |
| 4.2.1 Etapa 1: Adecuación de la Base de Datos .....                                 | 36        |
| 4.2.2 Etapa 2: Adecuación de las coberturas geomorfológicas .....                   | 37        |
| <b>4.3 Fase 3: Procesamiento digital de los productos de sensores remotos .....</b> | <b>39</b> |
| 4.3.1 Etapa 1: Ajustes.....   | 39        |
| 4.3.2 Etapa 2: Generación de subproductos de apoyo temático.....                    | 40        |
| 4.3.3 Etapa 3: Vinculación de material aerofotográfico.....                         | 44        |

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>4.4</b>  | <b>Fase 4: Fotointerpretación básica .....</b>  | <b>44</b> |
| 4.4.1       | Etapa 1: Interpretación de los modelos de Elevación/Pendientes .....                    | 44        |
| 4.4.2       | Etapa 2: Interpretación de imágenes Landsat/Sombras .....                               | 45        |
| 4.4.3       | Etapa 3: Interpretación de fotografías aéreas .....                                     | 46        |
| <b>4.5</b>  | <b>Fase 5: Verificación de campo .....</b>  | <b>47</b> |
| <b>4.6</b>  | <b>Fase 6: Reinterpretación y clasificación .....</b>                                   | <b>52</b> |
| <b>4.7</b>  | <b>Fase 7: Análisis y Correlación .....</b>   | <b>55</b> |
| <b>4.8</b>  | <b>Fase 8: Elaboración del mapa e informe final .....</b>                               | <b>58</b> |
| 4.8.1       | Etapa 1: Digitalización definitiva, ajuste de atributos y revisión topológica .....     | 58        |
| 4.8.2       | Etapa 2: Aplicación de leyendas y diseño final del mapa .....                           | 58        |
| 4.8.3       | Informe Final .....   | 59        |
| <b>5.</b>   | <b>CLASIFICACIÓN, CODIFICACIÓN Y SIMBOLOGÍA .....</b>                                   | <b>60</b> |
| <b>5.1</b>  | <b>Clasificación .....</b>  | <b>60</b> |
| <b>5.2</b>  | <b>Codificación .....</b>   | <b>71</b> |
| <b>5.3</b>  | <b>Símbolos .....</b>   | <b>76</b> |
| <b>6.</b>   | <b>CONTROL DE CALIDAD .....</b>   | <b>77</b> |
| <b>6.1.</b> | <b>COMENTARIOS GENERALES SOBRE LA CALIDAD EN LA INTERPRETACIÓN GEOMORFOLÓGICA .....</b> | <b>77</b> |
| <b>6.2.</b> | <b>CONTROL DE CALIDAD CARTOGRAFICO .....</b>  | <b>79</b> |
| 6.2.1.      | INTERPRETACIÓN Y DIGITALIZACIÓN .....   | 79        |
| 6.2.2.      | UNIDAD MÍNIMA DE MAPEO .....  | 79        |
| 6.2.3.      | SISTEMA DE REFERENCIA .....   | 80        |
| 6.2.4.      | CARTOGRAFÍA BÁSICA .....  | 80        |
| 6.2.5.      | CONTROL DE CALIDAD AL SAHPE. CAMPOS DILIGENCIADOS .....                                 | 80        |
| <b>6.3.</b> | <b>CONTROL DE CALIDAD TEMÁTICO .....</b>  | <b>81</b> |
| 6.3.1.      | CONTROL DE CALIDAD DE LA ZONIFICACIÓN PRELIMINAR (REPORTE DE LAS REVISIONES) .....      | 81        |
| 6.3.2.      | VALIDACIÓN Y DEPURACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA INTERPRETADA .....             | 82        |
| 6.3.3.      | CONTROL DE CAMPO .....  | 82        |
| 6.3.4.      | EMPALME DE LA CARTOGRAFÍA .....   | 82        |
| <b>6.4.</b> | <b>CARACTERIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN CAMPO .....</b>                  | <b>83</b> |
| 6.4.1.      | Factores asociados a las características del terreno a investigar .....                 | 83        |
| 6.4.2.      | Factores operativos .....   | 84        |
| <b>7.</b>   | <b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>   | <b>85</b> |
|             | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>87</b> |



# GUIA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS A ESCALA 1:100.000

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Durante los últimos años, numerosas entidades del estado colombiano han adelantado investigaciones y trabajos en las técnicas para clasificar y zonificar del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio, destacándose el IGAC, SGC y el IDEAM. Desde su fundación, el IDEAM fue encargado del levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas para establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio (Ley 99 de 1993). Esta tarea incluyó trabajos en el campo interdisciplinario de la Geomorfología, ciencia que analiza y clasifica las geoformas de la tierra, sus orígenes y los procesos dinámicos asociados.

En Colombia, existen muchos trabajos sobre la geomorfología, la fisiografía, levantamientos de suelos y los procesos morfodinámicos desde varios enfoques, resaltándose los aportes del ITC de Holanda en combinación con varias entidades nacionales incluyendo el antiguo Himat y el IGAC. Trabajos destacados con este enfoque incluyen los estudios de erosión de suelos del Himat (Lecarpentier, et al., 1977), y los cursos de fotointerpretación de CIAF, los cuales se basan en la descripción de los paisajes físicos con elementos de geología, relieve, clima y hasta el uso del suelo, conceptos comúnmente empleados también en las clasificaciones agrológicas y los levantamientos de suelos (Villota, 1991 y Botero, 1998).

Recientemente, el IDEAM (2010), desarrolló una metodología para el levantamiento de los Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano, con una cartografía regional a escala 1:500.000. Esa metodología presenta un resumen de los procesos y modelados morfogénicos dominantes en el territorio nacional. Al mismo tiempo, el Servicio Geológico de Colombia (SGC, 2012), ha contribuido su propia metodología para elaboración de mapas geomorfológicos, la cual retoma los planteamientos de Carvajal (2007) y las técnicas del CIAF y del ITC de Holanda (Verstappen y van Zuidam, 1992) con algunas modificaciones.

Para la elaboración de presente trabajo, se tomaron en cuenta todos los anteriores trabajos con el fin de elaborar una metodología específica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1: 100.000 con el apoyo de las técnicas modernas de sensores remotos y cartografía digital junto con las técnicas tradicionales de la fotointerpretación y trabajo de campo.

## **1.2 Justificación**

Durante los últimos años, el IDEAM ha desarrollado numerosos estudios relacionados con la geomorfología en Colombia con el objeto generar conocimiento sobre las dinámicas del paisaje físico como base científica para el ordenamiento ambiental del territorio. Recientemente, el IDEAM adelantó una metodología para el levantamiento morfogenético del territorio colombiano, basada en los conceptos geomorfológicos generales (Ideam, 2010). Aunque ese trabajo alcanzó un cubrimiento de todo el territorio nacional escala 1: 500.000, en la actualidad se requiere perfeccionar estas metodologías con el fin de precisar los procesos morfodinámicos tales como las inundaciones, deslizamientos y otros fenómenos ambientales a escalas más detalladas.

Dentro del aporte nacional para el análisis, seguimiento y ordenamiento del territorio nacional frente a las amenazas y desastres naturales, el IDEAM ha programado el levantamiento de la cartografía geomorfológica nacional escala 1:100.000. Los eventos ambientales de los últimos años con condiciones húmedas excepcionales y sus secuelas de deslizamientos, inundaciones prolongadas, daños en la infraestructura vial y económica del país han puesto de manifiesto la necesidad de una cartografía geomorfológica más detallada, capaz de aportar información ambiental más precisa sobre la susceptibilidad de las distintas regiones del territorio nacional. Dadas estas características, se hace necesario desarrollar una guía metodológica para levantamientos geomorfológicos más detallados que incorpore los múltiples enfoques existentes y las técnicas modernas de sensores remotos y cartografía digital.

## **1.3 Objetivos generales y específicos**

Como objetivo general se propone desarrollar una guía metodológica para levantamientos geomorfológicos a escala 1:100.000, incorporando las técnicas modernas de sensores remotos y cartografía digital en combinación con los métodos de fotointerpretación y verificación de campo. Como aspectos específicos se plantean los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Proponer una estructura conceptual básica de la Guía Metodológica para levantamientos geomorfológico a escala 1: 100.000,
- ✓ Precisar la selección de las fuentes de información básicas para una guía metodológica para levantamientos geomorfológicos,
- ✓ Desarrollar un método general para el manejo de la Base de Datos de la información cartográfica a escala 1: 100.000,
- ✓ Proponer un procedimiento básico para la Fotointerpretación básica, verificación de campo y representación de la información procesada.
- ✓ Desarrollar un sistema de clasificación geomorfológica de tipo jerarquizada, flexible y aplicable al ambiente tropical.

#### **1.4 Alcances**

La Guía Metodología para el mapa geomorfológico, pretende proporcionar una metodología general de tipo flexible que permita identificar las geoformas básicas a escala 1: 100.000, generalizarlas a escala menores (mas regionales) o detallarlas (locales) en etapas futuras a escalas mayores. La Guía Metodológica presentada aquí se entiende como una propuesta general sujeta a ajustes y complementos de acuerdo con las experiencias y aportes de los futuros levantamientos del IDEAM y los aportes de los trabajos afines de las demás entidades.

A continuación se presenta los alcances específicos y limitaciones del presente trabajo.

- Se plantea un procedimiento general para levantamiento geomorfológico a escala 1:100.000, apoyado en las técnicas modernas con información satelital y cartografía digital. Por los requerimientos de escala y las tecnologías empleadas los procedimientos se apoyan en las experiencias anteriores de los Sistemas Morfogénicos del IDEAM (2007) y las de SGC (2012).
- Se propone un sistema de clasificación jerarquizada desde los niveles morfogenéticos más generales hasta los subambientes, y potencialmente unidades geomorfológicas con criterios básicos que facilitan la clasificación. Sin embargo, el sistema está concebido como un sistema flexible de aproximación capaz de asimilar nuevas unidades y/o reclasificación, de acuerdo con los estudios e investigaciones futuras.
- Aunque se propone una serie de técnicas básicas de procesamiento digital de los productos de sensores remotos, estas técnicas también son sujetas a mejoramiento y complementación con nuevas técnicas hacia el futuro o por las condiciones particulares de las distintas regiones del país.
- La metodología propuesta se ajusta a los levantamientos geomorfológicos de escala 1: 100.000 donde la unidad cartográfica mínima se aproxima a 0,3 km<sup>2</sup>. Elementos

geomorfológicos menores pero identificables en las imágenes o la información de campo pueden ser representados por medio de símbolos tradicionales que se sugieren más adelante.

- A escala 1:100.000, se espera identificar las geoformas básicas con su morfogénesis, es decir los Subambientes asociados a los procesos morfogénicos de agradación (morrenas glaciales) o degradación (circos glaciales). A este nivel de aproximación, las unidades geomorfológicas básicas permiten caracterizar los procesos morfodinámicos dominantes tales como los fenómenos de inundación, movimientos en masas o deflación.
- Los métodos de fotointerpretación, levantamiento de información de campo y su posterior análisis y clasificación siguen las grandes tendencias en el campo de los levantamientos geomorfológicos (Verstappen y van Zuidam, 1992 y SGC, 2012). En este sentido, muchos de los procesos y análisis dependen de experiencia previa del fotointerprete, incluyendo conocimientos básicos de geología, clima y los procesos morfodinámicos del Cuaternario.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Enfoques geomorfológicos

Los levantamientos geomorfológicos modernos pueden encontrar sus raíces en los trabajos adelantados por el CSIR de Australia a finales de los 40s, donde empleaban las técnicas de fotointerpretación tradicional para los levantamientos integrales incluyendo los factores de Geoformas, Suelos y Cobertura vegetal. Enfoques similares han sido propuestos por el ITC (terrain analysis; van Zuidan, 1984), con un componente geomorfológico fuerte sumado a los factores de clima, suelo y uso. Una versión colombiana de este enfoque lo constituyen los estudios fisiográficos adelantados por el CIAF (Villota, 1991 y Botero, 1998), los cuales se basan en la descripción de los paisajes físicos con elementos de geología, relieve y clima y hasta uso de suelo, método comúnmente empleado en las clasificaciones agrológicas del IGAC.

El IDEAM (2010), también, desarrolló una metodología para el levantamiento de los Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano para la escala 1: 500.000, sistemas jerárquicos que combina las categorías morfoestructurales (procesos endógenos) con los ambientes morfodinámicos (procesos exógenos). En este enfoque se prioriza los procesos morfoestructurales a través de la interpretación tectónica del relieve en un sistema jerárquico aproximado, seguido por el modelado y las condiciones biogeográficas, de la siguiente manera:

1. **Morfoestructura:** Este nivel de aproximación se relaciona con el macro-relieve generado por la evolución tectónica, es decir los procesos endógenos (internos), tales como las montañas, escudos paleozoicos y depresiones tectónicas.
  - a. **Modelados:** Este nivel de aproximación se relaciona con las geoformas regionales en función de la evolución morfo dinámica, es decir los procesos exógenos (externos) tales como los ambientes glaciales, fluviales, marinos o eólicos.
    - i. **Condiciones biogeografías:** Este nivel de aproximación se relaciona con las variables bio-geoclimáticas locales entre los cuales se considera las condiciones locales de cobertura vegetal, la pendiente y las condiciones climáticas locales tales como precipitación.

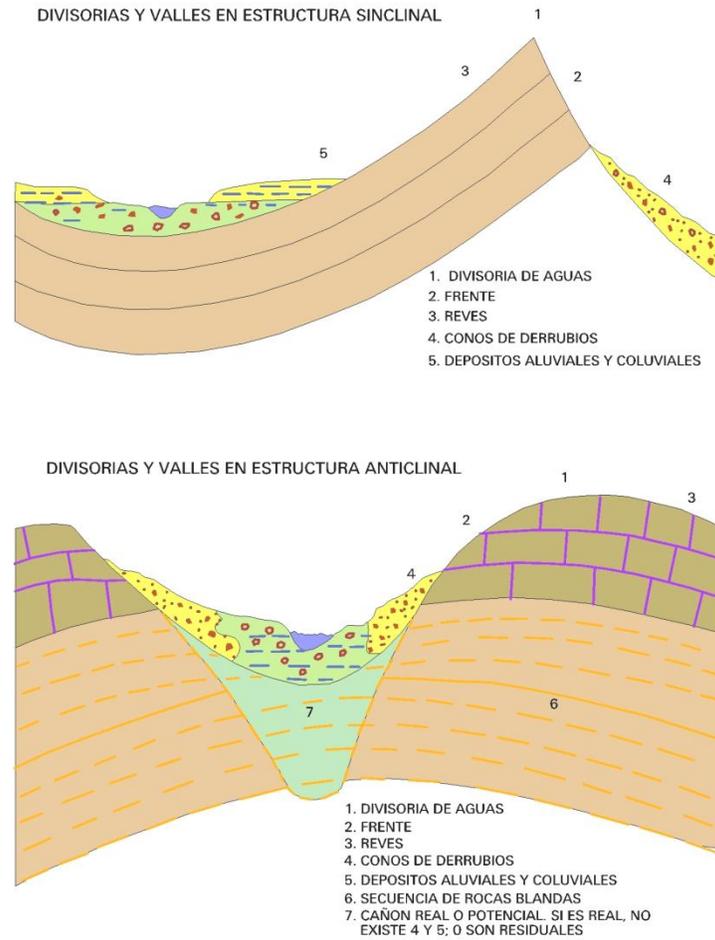


Fig. 1. Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano, Ideam, 2010. Esquema general de la relación entre las geformas aluviales, coluviales y estructurales.

El enfoque más reciente en el país lo constituye la Metodológica para elaboración de mapas geomorfológicos del SGC (2012) que retoma los planteamientos de Carvajal (2007) y los sistemas del CIAF y del ITC de Holanda con algunas modificaciones. Aunque los enfoques del ITC como los del SGC (Carvajal, 2007), proponen sistemas jerarquizados, falta un sistema de nomenclaturas y categorías bien definidas para los niveles más detallados. A continuación se presenta el sistema general del SGC:

### Mapas Geomorfológicos del SGC (2012)

- 1) **Provincia:** presenta macro-relieve y geología similar; Escala 1: 1000.000-500.000
  - a) **Región:** ambiente morfogenético específico en condiciones climáticas homogéneas; Escala 1: 500.000-250.000
    - i) **Unidad:** presenta geoformas individuales a partir de procesos específicos y la morfología específica; Escala 1: 100.000-50.000.
      - (1) **Subunidad:** se define fundamentalmente por contrastes morfológicos y morfométricos asociado con el tipo de material específico; 1: 25.000-1:10.000.
        - (a) **Componente:** representa el máximo nivel de detalle asociado a escarpes, cambios de pendiente; Escala 1: 10.000 o mayores.



**Foto 2.1:** Geoformas fundamentales de terrazas y laderas de los ambientes fluviales y estructurales, La Plata, Huila.

## 2.2 Marco teórico general

Las distintas geoformas de la superficie terrestre se entienden, en términos generales, como el resultado de la interacción de los procesos endógenos (internos), formadores de los rasgos principales del relieve y los procesos exógenos (externos) asociados con el desgaste del relieve primario a través del tiempo geológico y la formación de las llanuras aluviales, eólicas y marinas por los distintos modelados morfodinámicos. En general, la morfología superficial de la Tierra presenta una polaridad entre los bloques continentales elevados y las cuencas oceánicas, tendencias claramente visibles en su curva hipsométrica de origen tectónico (Selby, 1984). Estas mega-unidades morfológicas pueden subdividirse en cordilleras, llanuras continentales, serranías y lomeríos cratónicos, plataforma continental (litoral), taludes continentales, llanuras abisales, dorsales submarinos y las fosas submarinas. Sin embargo, aun esta mega-morfología comúnmente asociada con la Tectónica de Placas se encuentra interrelacionada con los procesos exógenos de las lluvias y mares mediante el desgaste del relieve primario de las cordilleras y los cratones y la generación de magma andesítico a partir de la subducción de la corteza marina con sus sedimentos submarinos e hidrotermales (Bloom, 1998).

A una escala intermedia, el impacto de los procesos exógenos, a través de los glaciares, ríos, vientos y mar, entre otros, ha contribuido a la formación de los paisajes más tradicionales de la geomorfología, el paisaje alpino, las llanuras aluviales, los campos de dunas y las planicies litorales y deltas. La intensidad de estos procesos ha sido de tal grado que algunos autores han afirmado que la gran mayoría de las geoformas de la superficie datan de apenas del Terciario Superior y aun más reciente, del Cuaternario (Bloom, 1998). Hay que reconocer que estos procesos tectónicos continúan aun en el presente en el país, la llamada “neotectónica”, por lo cual pueden considerarse procesos tanto estructurales como dinámicos (Robertson, 2007). Estos conceptos centrales de la génesis de las geoformas pueden resumirse en la siguiente expresión donde las distintas geoformas son el resultado de la interacción de la Morfoestructura (procesos endógenos) y los procesos morfodinámicos (procesos exógenos) a través del tiempo:

$$\text{Geoformas} = \int \text{Estructura} * \text{Proceso} * \Delta t$$

En este enfoque, la **Estructura** corresponde a todas las características de la corteza terrestre relacionados con su levantamiento y/o deformación además de sus características litológicas. Como se comentó anteriormente, las variaciones de relieve sobre la superficie terrestre se

relaciona con los complejos procesos tectónicos de convección en el manto superior (acreción de corteza oceánica) y la construcción de las cordilleras a través de la subducción y la orogenia (Bloom, 1998). Aunque los procesos de deformación tectónica constituyen la base principal para la formación de las cordilleras y serranías (relieve), también generan gradientes topográficos fundamentales para el funcionamiento de muchos de los procesos exógenos tales como la erosión fluvial y glacial. (IDEAM, 2007). Este componente también incluye las características litológicas de las rocas superficiales, variaciones de composición que inciden en los procesos posteriores de meteorización y remoción. Por lo tanto, esta variable abarca los ambientes clásicos de origen morfoestructurales tales como los ambientes Estructurales (bloques y pliegues), Volcánicos (volcanes) y Cárstico (disolución en rocas carbonatadas). En términos tradicionales, estos aspectos corresponden al origen estructural del relieve a través de la tectónica y la actividad volcánica, es decir, la **Morfoestructura**.

El conjunto de **Procesos** que actúan sobre la superficie terrestre se agrupa comúnmente en el campo de la morfodinámica, es decir los procesos exógenos tales como los glaciares, ríos, viento y el oleaje del mar, entre otros, es decir la **Morfodinámica**. Estos procesos constituyen la base para muchos de los ambientes morfodinámicos clásicos tales como los ambientes Fluvial (ríos), Glacial (glaciares), Eólico (viento), Marino (oleaje marino), procesos de impactos variables sobre la corteza terrestre. Los movimientos gravitatorios, también llamados movimientos en masa y la erosión pluvial e hídrica comúnmente han sido agrupados tradicionalmente en el ambiente denudacional, un campo clásico donde inciden factores endógenos (litología y estructura) y exógenos (humedad y lluvias), todo eso bajo la influencia de la gravedad a través de la pendiente.

Recientemente, el impacto cada vez más intensivo de las actividades humanas ha modificado muchos de los procesos ya descritos, acelerando los fenómenos erosivos en las laderas mediante la modificación de la cobertura vegetal o interviniendo en los sistemas fluviales a través de las obras de represas, diques y canales, entre otros. En muchos casos su intervención tiende a acentuar los procesos actuales, tal como la escorrentía en las zonas urbanas pero en algunos casos las modificaciones del terreno llegan a constituir geoformas totalmente nuevas, ambiente denominado aquí como Antrópico. Ejemplo de las modificaciones antropogénicas son los rellenos sanitarios y de escombros, o las canteras asociadas con la minería para solo mencionar los casos más sobresalientes.

La modificación de la **Estructura** por los **Procesos** se produce a lo largo del **Tiempo** con grados de intensidad diferencial, hecho que resalta la importancia de la escala de tiempo en el análisis de la construcción y destrucción de las geoformas terrestres. La construcción de las cordilleras requiere normalmente varios millones de años mientras las morrenas glaciales

probablemente se forman durante unos centenares a miles de años y los orillares de un río meándrico pueden generarse en cuestión de un año inclusive meses. Estos ejemplos también subrayan la correlación entre la magnitud de las geoformas y el tiempo de construcción o degradación donde las geoformas de gran magnitud son el resultado de procesos prolongados que tienden a ser más duraderos, mientras las geoformas menores se relacionan con procesos más cortos y generalmente menos duraderos (Bloom, 1998). A la vez, muchas geoformas presentan una organización espacial en función de su desarrollo cronológico tales como las terrazas aluviales incisadas y las secuencias de morrenas a lo largo de los valles glaciales. El análisis de las geoformas en función de su edad, bien sea en términos relativos o absolutos, se llama **Morfocronología**.

Aunque muchas de las geoformas actuales representan etapas del desgaste de la superficie terrestre ante los procesos exógenos, gran parte de los materiales erosionados y transportados por los sistemas fluviales, glacial y eólicos son acumulados temporalmente en los valles, planicies aluviales y zonas litorales. Dentro de las características de estos **Depósitos Superficiales** de edad Cuaternario, también llamados “Formaciones Superficiales” (Ideam, 2007), se resaltan su estratificación, granulometría y sus características morfométricas particulares. Todas estas características contribuyen a diferenciar los distintos ambientes de transporte y acumulación, y por ende los diferentes modelados, aspectos que serán precisados en la sección de Verificación de Campo.

Finalmente, cabe resaltar la complejidad de los ambientes geomorfológicos durante el Cuaternario, donde se superponen procesos y estructuras a lo largo del tiempo. La mayoría de las geoformas han sufrido procesos complejos de acumulación, degradación y retoques por otros procesos, situación especialmente marcada en el contexto de las **Variaciones Climáticas** del Cuaternario. Durante los últimos 2,5 Millones de años, se han presentado numerosos avances glaciales en las zonas altas de las montañas ecuatoriales, fluctuaciones térmicas sincrónicas con periodos de mayor aridez y descenso de hasta más de 100 metros en el nivel global del mar. Estas variaciones ambientales, incidieron en el aumento en la carga de sedimentos de los ríos, junto con el aumento en la pendiente hidráulica. A finales del Terciario, también se presenta una notable actividad tectónica, desde el cierre del Istmo de Panamá hasta el levantamiento de la cordillera de los Andes y su reactivación volcánica. Dentro de esta visión morfodinámica y morfoestructural se plantea un modelo general para abordar la clasificación de las geoformas colombianas.

### 2.3 Consideraciones generales para el mapa geomorfológico

La actual aproximación hacia un Sistema de Levantamiento Geomorfológico a escala 1:100.000, se apoya en las anteriores observaciones y en especial las metodologías clásicas propuestas por el ITC (Verstappen, H. Th. y Van Zuidan, R.A., 1992), Robertson, 1994 y SGC (Carvajal, 2008) con algunas modificaciones y ajustes de acuerdo con las condiciones y experiencias colombianas. También se incluyen los aportes de los Sistema Morfogénicos del Territorio Colombiano (Ideam, 2007), en especial los procesos morfodinámica y factores bio-antrópicos en la génesis de las geoformas. El sistema jerárquico semidetallado propuesto de levantamiento, pretende ser flexible y aplicable sobre una gran diversidad de ambientes y una gran gama de escalas. Para su elaboración se plantean algunos principios básicos que deben cumplirse para el desarrollo de un levantamiento geomorfológico a escala aproximada de 1:100.000. Las unidades básicas de calcificación deben reunir cinco aspectos básicos:

**1. Génesis, es decir un agente morfogenético dominante claramente identificable, p. ej. Glacial, Estructural, Volcánico, Fluvial, Eólico, Marino, Antrópico, etc.,**

**2. Procesos secundarios: procesos específicos de agradación y/o erosión que modifican la estructura básica, p. ej. Morrenas, Crestas estructurales, Terrazas aluviales, Duna eólicas, Playas litorales, etc.,**

**3. Estructura interna incluyendo composición y estructura sedimentaria (p.ej. aluvial, torrencial, lacustre calcáreo, plegado, masivo, diaclasada, etc.),**

**4. Morfometría (rango de pendientes característico de la unidad).**

**5. Edad relativa (o exacta), p. ej. Reciente, subreciente o antiguo.**

- ✓ Las unidades propuestas deben ser el resultado de un trabajo integral de fotointerpretación de imágenes satelitales y/o aerofotografías, con el apoyo de la información secundaria y comprobación de campo.
- ✓ Clasificación jerárquica con una nomenclatura alfanumérica sencilla pero flexible con una terminología sencilla.
- ✓ Las unidades geomorfológicas principales identificables a la escala aproximada de 1:100.000, y clasificadas en un sistema geo-referenciado (SIG).
- ✓ Tener un sistema de identificación por colores, complementado por un sistema de símbolos para los elementos menores.
- ✓ Incluir los procesos morfodinámicos activos de las distintas unidades identificadas entre los atributos cuando se pueden diferenciar.

### 3. PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN JERARQUIZADA

#### 3.1 Propuesta General

El modelo general propuesto se apoya principalmente en los modelos jerarquizados empleados por el ITC (Verstappen y van Zuidam, 1992.) y el SGC (2010), partiendo de los ambientes morfogenéticos básicos, con subniveles morfodinámicos y cronológicos para los nivel de mayor detalle conceptual. Para los niveles más detallados, los Sistemas Morfogénicos (Ideam, 2010) pueden servir de referencia para detallar los procesos morfodinámicos y bioclimáticos asociados. Estos niveles de conocimiento y análisis pueden presentarse sobre extensiones variables y por lo tanto no representa nivel escalares. Por ejemplo una terraza aluvial puede extenderse sobre un amplio espacio y ser representado a escala 1:100.000 mientras un volcán menor a la misma escala solo puede representarse por medio de un símbolo.

El sistema jerárquico que se propone se asemeja a varios trabajos anteriores donde se conjuga en forma sucesiva los macroambientes y geoformas en función de sus características morfodinámicos y edad relativa de la secuencia de geoformas (Flórez, et al, 1996 y Robertson, et al, 2003). Siguiendo este mismo estilo se propone un sistema de representación graficas alfanumérico que facilita la clasificación y su aplicación por los usuarios. A continuación se presenta el sistema general de aproximación morfogenético y morfodinámico (Fig. 1):

**1. Ambientes Morfogénicos Generales:** Grandes ambientes morfogenéticos, es decir, los paisajes dominados por agentes morfogenéticos de formación general, tales como Glacial, Estructural, Volcánico, Fluvial, Eólico, Cárstico, Denudacional, Marino y Antropogénico (Morfogénesis), generalmente expresados a escalas aproximadas de 1: 500.000. Este nivel se representa con una letra mayúscula en el sistema grafico del mapa (Ej. S, F, etc.)

**a. Subambientes Morfodinámicos:** Subambientes con procesos específicos de origen denudativo o de agradación asociados a los ambientes principales con su correspondientes materiales (formaciones superficiales) composición y estructura; por ejemplo para el ambiente Glacial: Glaciares, Circos, Valles glaciares, Morrenas y Conos de ablación (Morfodinámica y Morfometría), generalmente expresados a escala aproximada 1:100.000. Este nivel se representa con una letra minúscula en el sistema grafico del mapa (Ej. Sc, Ft, etc.)

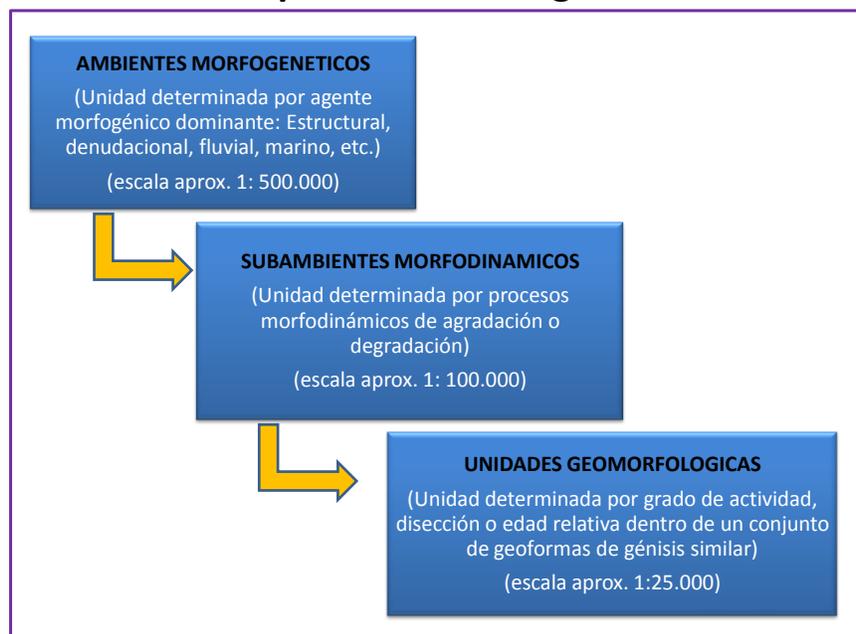
**i. Unidades Geomorfológicas:** Unidades con una morfometría y una edad cronológica específica, bien sea de tipo relativo o exacto y sus características topográficas de pendiente y disección (Morfo cronología). Generalmente expresadas a escala

aproximada 1:50.000 a 1:25.000. Este nivel se representa con un número que representa el grado de actividad o edad relativa en el sistema gráfico del mapa (Ej. Sc1, Ft2, etc.)

- b. Componentes:** elementos generalmente representados por símbolos en las otras escalas incluyendo aspectos como taludes, orillares, escarpe de fallas, (Morfometría detallada), etc. Estas características pueden representarse potencialmente como unidades espaciales en la cartografía a escala aproximada 1:10.000 a 1: 2.000.

Figura 2.

### Jerarquización Morfogénica



### 3.2 Ambientes geomorfológicos

#### 3.2.1 Ambiente Estructural

El ambiente estructural corresponde a las zonas dominadas por los bloques tectónicos de rocas sedimentarias plegadas y los macizos ígneos – metamórficos sin geoformas marcadas de otros ambientes. En este contexto, tanto la litología como la estructura de deformación de las rocas inciden para favorecer una disección distintiva de los bloques levantados y plegados. Mientras el grado de plegamiento de las rocas sedimentarias favorece geoformas específicas tales como mesetas y crestas estructurales, la tendencia masiva de las rocas ígneo-metamórficas tiende a generar la formación de cuchillas con pendientes similares y patrones de drenaje en función de los sistemas de diaclasas y fallas geológicas. Por tales motivos, los criterios de clasificación se agrupan principalmente en las diferencias litológicas y los controles estructurales de plegamiento y fallamiento que presentan las zonas levantadas. En las rocas sedimentarias plegadas se presentan tres geoformas clásicas en función del buzamiento de las capas de rocas competentes, mesetas, crestas (laderas estructurales) y hogbacks (Fig. 3).

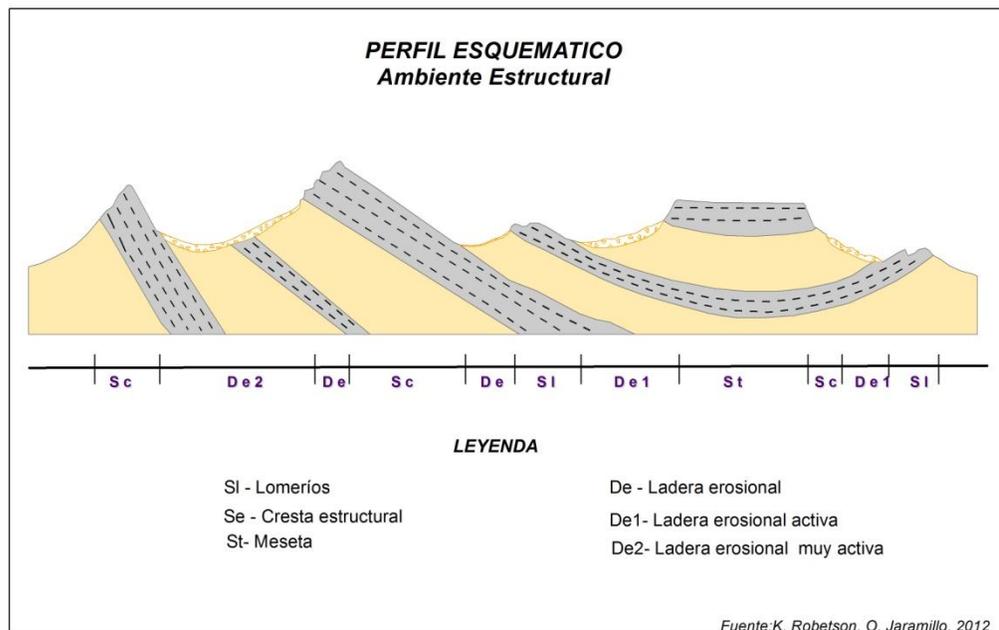


Fig. 3. Unidades Morfoestructurales con Laderas estructurales, Crestas estructurales, Mesetas estructurales y Laderas erosionales con procesos erosivos variables.



**Foto 3.1:** Rocas sedimentarias plegadas en la cuenca media del río Las Ceibas, Neiva, Huila, con intercalaciones de arenisca y arcillolitas en el flanco del Macizo de Garzón, foto K. Robertson.

### 3.2.2 Ambiente Volcánico

El ambiente volcánico se caracteriza por geformas construidas a partir de las erupciones magmáticas de carácter lávico y/o explosivo y sus productos. Las geformas volcánicas se presentan en todos los tamaños desde cráteres de tamaño métrico hasta mesetas lávicas de miles de kilómetros de extensión. También, los distintos tipos de magmas inciden en el comportamiento volcánico, diferenciándose grandes tendencias explosivas de las calderas (riolítica) y lávicas de los volcanes escudo (basáltica) y los procesos mezclados de los estratovolcanes (andesítica). Los subambientes más notorios se relacionan con los distintos procesos volcánicos explosivos y la generación de cráteres, laderas volcánicas, mantos de piroclastos o las coladas de lava. También, las geformas pueden resultar de procesos combinados tales como los flujos piroclásticos y fluvio-volcánicos o “lahares” (Walker, 1987).



**Foto 3.2:** Volcán Nevado del Huila, cordillera Central, un estratovolcán con flujos laháricos recientes sobre su flanco suroccidental y un domo intrusivo reciente sin nieve (centro), foto Observatorio Vulcanológico de Popayán-SGC.

### 3.2.3 Ambiente Denudacional

La disección de los paisajes por los procesos exógenos se manifiesta en procesos erosivos hídricos y gravitatorios o una combinación de los dos. Bajo condiciones climáticas secas, las formas erosivas relacionadas con disección y pérdida del suelo generan fenómenos de erosión en forma laminar, surcos y cárcavas, es decir terrenos eriales. En cambio, condiciones húmedas favorecen la meteorización del subsuelo y los movimientos gravitatorios con sus deslizamientos y flujos de suelos y escombros. Indudablemente, los dos procesos interactúan para producir un sinnúmero de combinaciones. Aun así, los procesos erosivos hídricos y de remoción en masa, constituyen los dos subambientes dominantes del Ambiente Denudacional.

Dentro del Subambiente de Remoción en Masa se distinguen las laderas erosionales con escarpes estrechos, a veces representado en forma lineal y las laderas coluviales con remoción en masa más o menos activa (Fig. 4). También son notorios los flujos torrenciales en la forma de vegas y conos de estabilidad variable, a veces difíciles de distinguir de los depósitos de ladera salvo por su forma típicamente de relleno y pendiente menor. Esta morfología también se relaciona con un drenaje complejo de dos o tres cauces secundarios separados por los flujos recientes dentro del mismo valle menor.

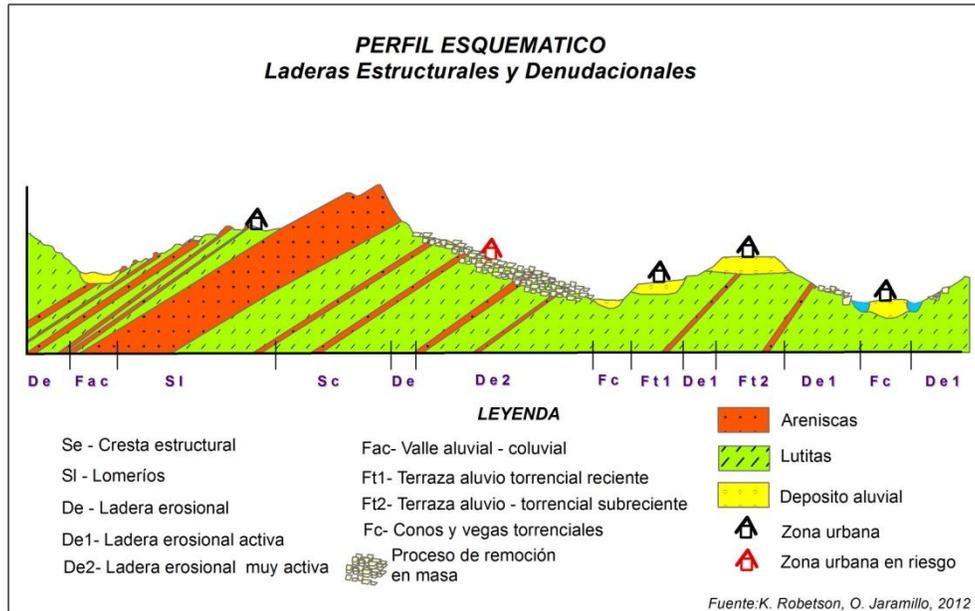


Fig. 4. Perfil esquemático con laderas estructurales y denudacionales con terrazas aluvial-torrenciales de edad relativa variable.



Foto3.3: Sector de Chirajara, Guayabetal, Cundinamarca con deslizamientos activos y represamiento parcial del rio Negro, foto K Robertson.

### 3.2.4 Ambiente Glacial

El Cuaternario ha sido periodo dominado por numerosos ciclos glaciales, periodos fríos que ha afectado la cordillera alta de los Andes con los procesos altamente erosivos y de acumulación asociados con la gelifracción y abrasión durante el avance de las lenguas glaciares. Como subambientes, se destacan las depresiones semi-circulares llamadas “circos glaciales” con sus lagunas y artesas asociados, seguidos comúnmente por las morrenas glaciales, lomas alargadas de acumulaciones de detritos de gelifracción. Ladera abajo, ocasionalmente se puede conservar conos fluvio-glaciales de ablación y evidencias de actividad periglacial.

En el ambiente glacial de la zona neotropical andina, la actividad glacial fue especialmente efectiva en las rocas sedimentarias competentes, es decir las areniscas y conglomerados, generando las geoformas clásicas de circos, morrenas y localmente conos de ablación. Aunque las morrenas glaciales son difíciles de apreciar a escala 1:100.000, su ubicación por fotointerpretación aérea o información secundaria facilita de identificación de las aéreas glaciadas y dominadas por circos y valles en “U” (artesas) y la zona fluvio-glacial y potencialmente periglacial (Fig. 5).

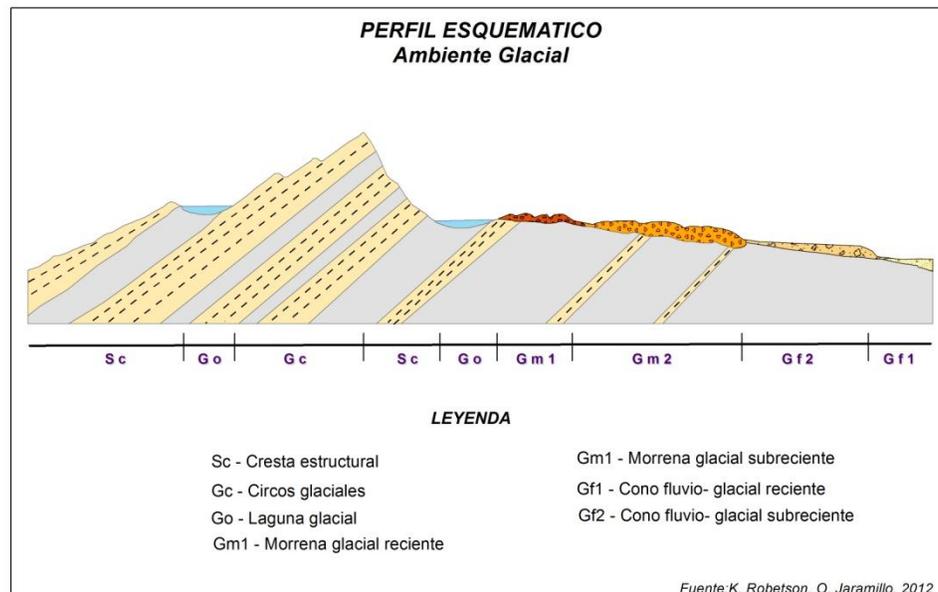


Fig. 5. Ambiente Glacial con subambientes típicos de Circos, Morrenas y Conos fluvio-glaciales sobre laderas estructurales, perfil típico de los páramos en la Cordillera Oriental de Colombia.



Foto 3.4: Paramo de Sumapaz con circos y lagunas glaciales en el sector del Alto de Curubital. Típicamente, la zona actuales de paramo corresponden a las zonas glaciadas durante el Pleistoceno. Foto K. Robertson.

### 3.2.5 Ambiente Fluvial

Este ambiente está dominado por la acción de las corrientes de agua y el transporte de sedimentos sobre la superficie terrestre. Los ríos se encargan de transportar sus carga líquida y sólida a lo largo del sistema fluvial generando procesos erosivos y de acumulación en función de su pendiente, caudal y carga de sedimentos. Estos procesos conllevan a la formación de las geoformas características del sistema fluvial, principalmente los Abanicos de piedemonte, las Vegas aluviales de divagación, los Albardones (o dique aluvial), las Llanuras aluviales de inundación, las Terrazas aluviales, los Conos torrenciales, y las Ciénagas fluviales. Para los anteriores geoformas, la composición de los sedimentos varía significativamente, aspectos que pueden analizarse para la reconstrucción de los ambientes de acumulación (Walker, 1987).

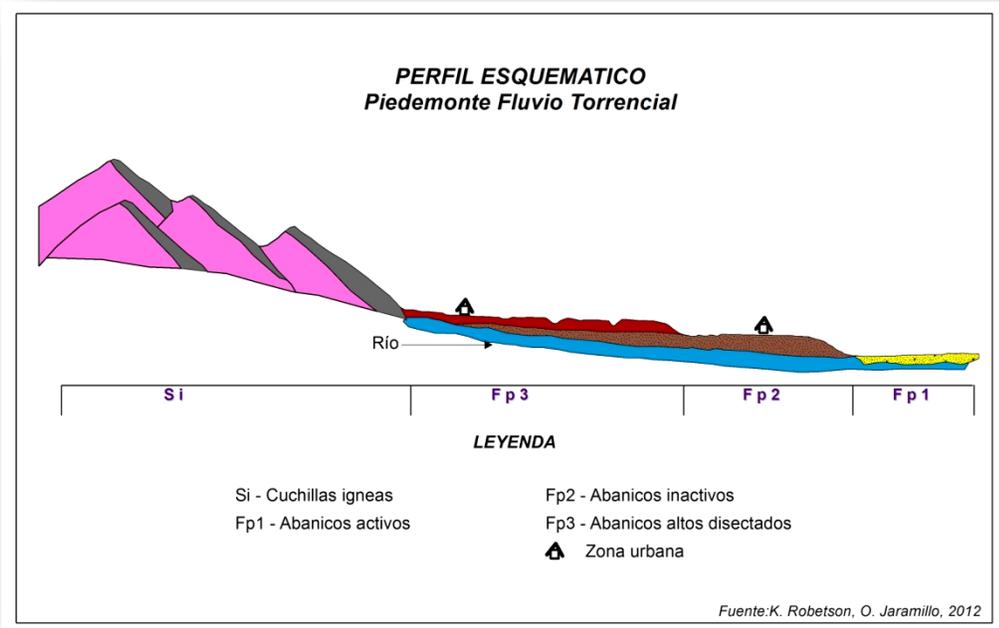


Fig. 6 Perfil esquemático del los piedemontes aluvio-torrenciales compuestos por abanicos con grados de disección variable según su edad.

Dentro de los subambientes mas destacados se incluyen los piedemontes con sus abanicos coalescentes con distintos grados de disección y edad (Fig. 6). La disección de piedemonte puede asociarse con los rios principales o en casos de disección avanzada incluir hasta las quebradas y caños superficiales, un fuerte indicio de su inactividad y edad antigua de formación. En general, sobre los abanicos activos se observan comúnmente orillares o otras evidencias de la migración reciente de los rios sobre la superficie mientras los abanicos antiguos solo presenta superficies disectadas y suelos superficiales mas evolucionadas.

Por otro lado, las llanuras de inundación abarcan grandes zonas de los valles inferiores de los rios principales, en el caso de Colombia, las cuencas bajas de los rios Cauca, Magdalena, Atrato y de los Llanos Orientales, entre otros. Sobre estos tipos de terrenos se desarrollan un complejo de geoformas derivadas de la evolución reciente de los sistemas fluviales con la formación de albardones (diques) naturales, cubetas de inundación y ciénagas fluviales (ver Fig. 7). Los albardones son el resultado de la acumulación de sedimentos, durante los periodos de desborde, a lo largo de los cauces mientras las cubetas de inundación y ciénagas fluviales reciben el excedente de los caudales pico, y constituyen sistemas naturales de amortiguación. Adicionalmente se encuentran comúnmente cauces abandonados o paleocauces, evidencias de fases anteriores de migración de los sistemas fluviales durante la evolución Holocénica de los valles inferiores.



Foto3.5: Ciénaga de Simití, Bolívar, con el brazo Simití en primer plano y la llanura de inundación con ciénagas fluviales en aguas bajas, foto K Robertson.

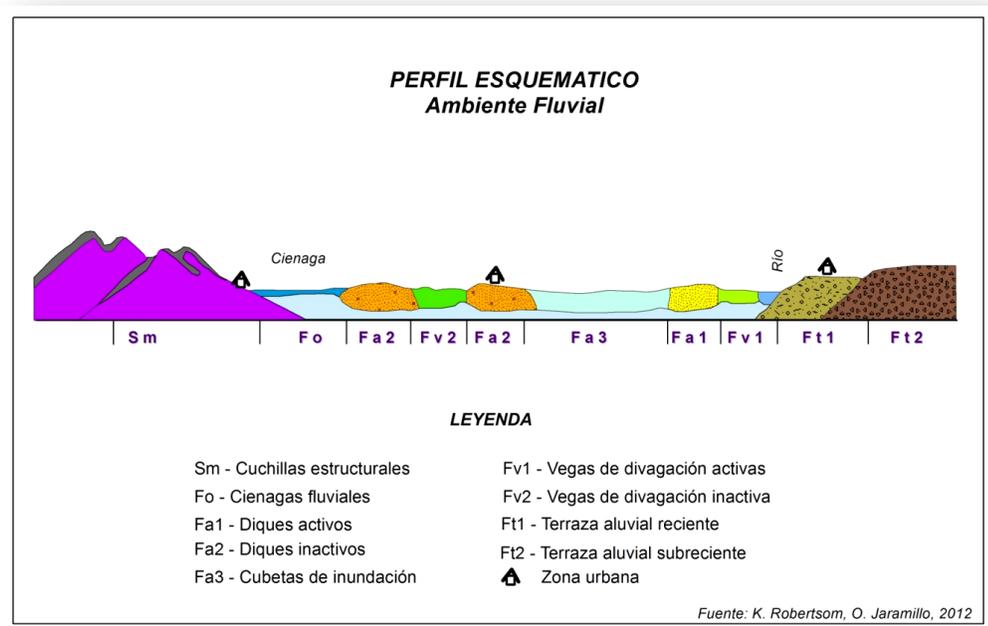


Fig. 7. Llanura de inundación con sus unidades geomorfológicas básicas incluyendo albardones, cubetas de inundación, ciénagas y terrazas

### 3.2.6 Ambiente Marino

Las geoformas dominantes de la zona costera son el resultado de la interacción de los procesos marinos de oleaje y mareas sobre los elementos continentales tales como la estructura y litología local, los aportes fluviales en los deltas y la actividad biológica de las formaciones arrecifales. Los geoformas marinas, también llamadas “litorales”, reflejan estos subambientes erosionales tales como los Acantilados y los subambientes relacionados los procesos exógenos de viento y oleaje en las Playas litorales, Marismas y ciénagas litorales, Terrazas marinas, Barreras coralinas y Deltas litorales (Fig. 8).

Las playas, también conocidos como cordones litorales, corresponden a geoformas de acumulación arenosa a gravillosa y pueden subdividirse por unidades de playas activas e inactivas (subrecientes). En cambio las terrazas marinas pueden ser generadas por procesos de abrasión (erosión) o sedimentación y corresponder a variaciones eustáticas del nivel del mar o movimientos tectónicos locales o regionales de la zona costera. Los acantilados también pueden ser de tipo activo si están expuestos a la acción del oleaje o inactivo (fósil) si corresponden a una antigua línea costera, hoy en día levantada o protegida por la sedimentación más reciente como se ve en la Fig. 8.

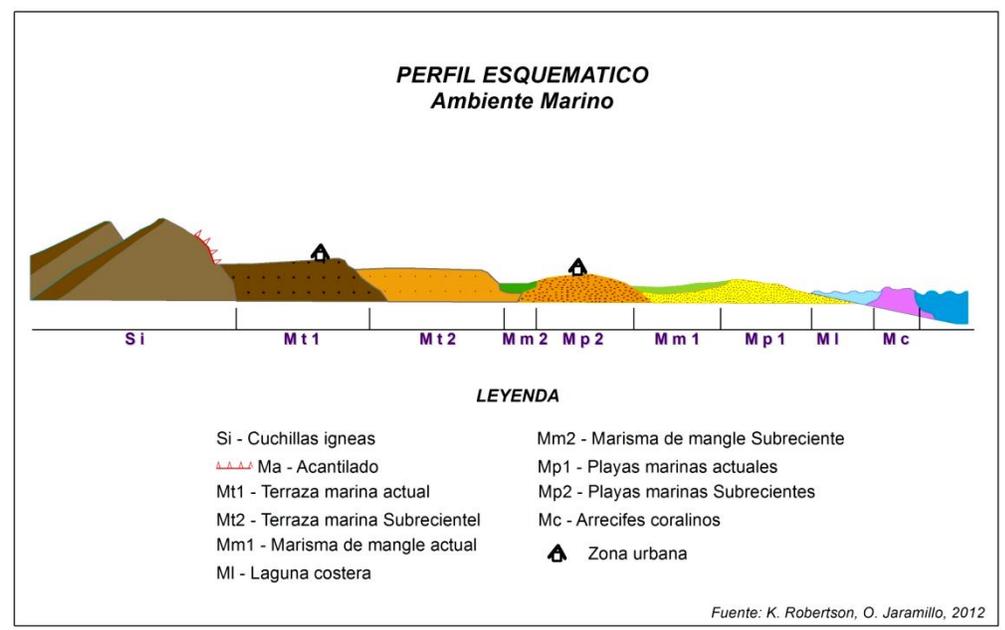


Fig. 8. Perfil esquemático del Ambiente Marina con subambientes de playas, marismas, terraza marinas, arrecifes coralinos y acantilados.



Foto 3.6: Acantilados litorales en el sector de Sabanilla, Atlántico bajo condiciones de mar de leva y erosión activo, foto K. Robertson.

### **3.2.8 Ambiente Cárstico**

El ambiente cárstico es tal vez un de los ambientes más restringidos ya que se relaciona casi exclusivamente con los procesos de disolución de las rocas carbonatadas. El grado de desarrollo cárstico varía en función del tipo de roca, su espesor y plegamiento y la disponibilidad de agua. Geoformas comunes incluyen disolución parcial con dolinas, valles cársticos y paisajes residuales de torres. Son comunes los sistemas de drenaje interno con la formación de cavernas y la recristalización calcárea en la forma de estalactitas y estalagmitas, geoformas internos no apreciables en superficie.

### **3.2.7 Ambiente Eólico**

El ambiente eólico abarca el conjunto de procesos asociados con la erosión, transporte y sedimentación por el viento. Los procesos erosivos incluyen deflación y abrasión, es decir el arranque inicial de los materiales superficiales mientras los procesos de acumulación se relacionan con la formación de las distintas geoformas eólicas, en especial las Dunas eólicas y los Mantos eólicos o de loess. Estos procesos generalmente requieren condiciones de aridez, poca cobertura vegetal y material superficial erodable. Aunque este ambiente no se presenta comúnmente en la actualidad, dadas las variaciones climáticas del Cuaternario, varias zonas del país se encuentran cubiertas por estos tipos de depósitos y geoformas tales como grandes sectores de los Llanos Orientales y el sector norte del Litoral Caribe.



Foto 3.7: Costa de la Guajira, con dunas eólicas asociadas con playas activas en el sector de Castilletes, Dpto. La Guajira.

### 3.2.9 Ambiente Antrópico

Este ambiente se caracteriza por presentar geformas generadas por la alteración significativa de la superficie terrestre por la acción del hombre. Dentro de estos procesos se destacan los rellenos artificiales, rellenos sanitarios y las excavaciones, generalmente asociados con la minería a cielo abierto y los embalse artificiales. Aunque las zonas urbanas también representan una modificación notable de la superficie terrestre, en especial la permeabilidad del suelo urbano, por el momento se considera como una alteración secundaria de la morfología básica del terreno, aspecto para tratarse en levantamientos más detallados.



Foto 3.9: Relleno Sanitario de Doña Juana, con la reconfiguración del terreno en la forma de terracitas de relleno con la impermeabilización de los taludes con geotextil y la modificación del drenaje. Foto Revista Semana.

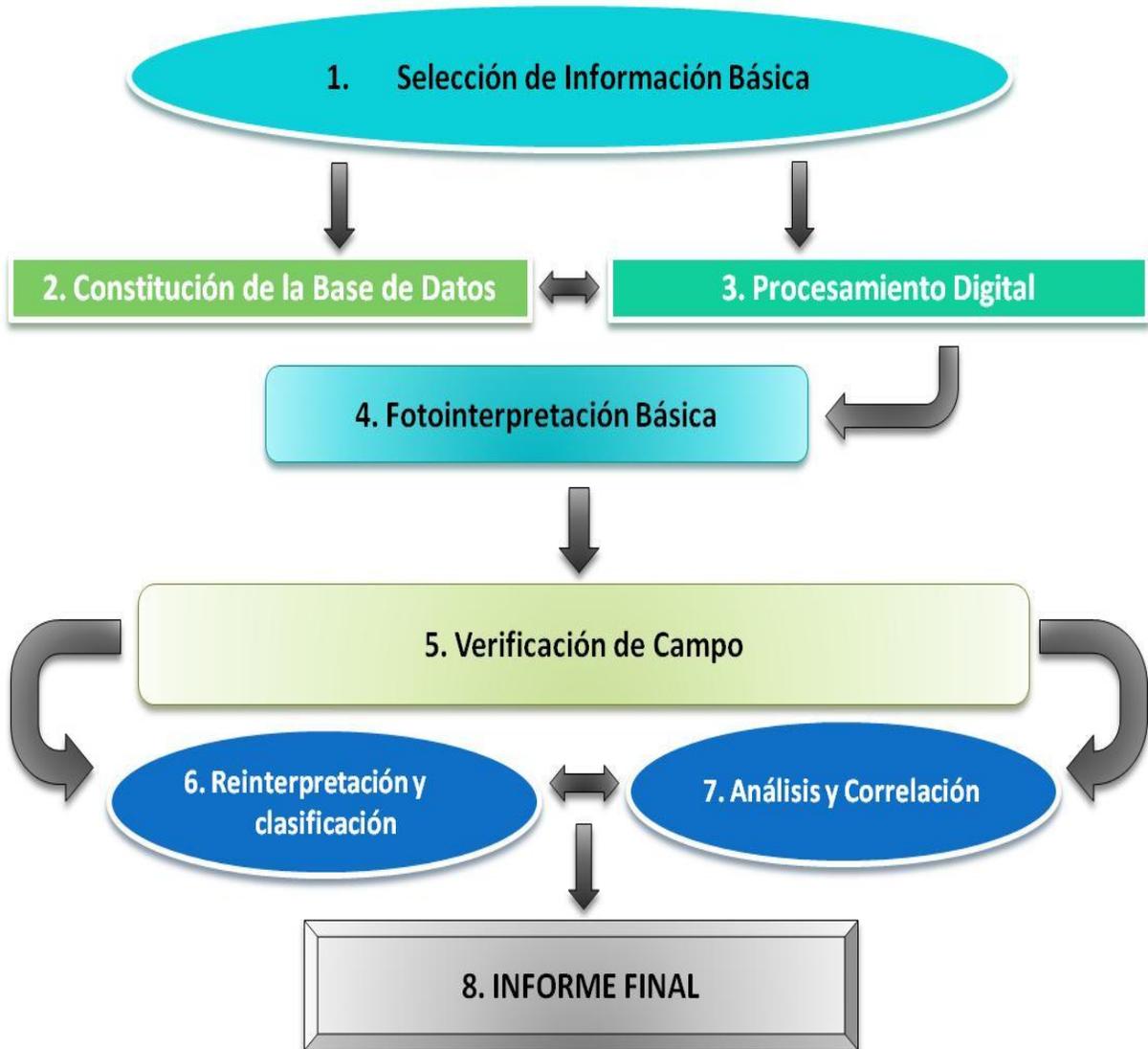
## 4. FASES DEL LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO

La metodología general que se presenta a continuación se entiende como una propuesta preliminar que se apoya en los grandes lineamientos para los levantamientos geomorfológicos que se aplican en la actualidad (Cooke y Doornkamp, 1984, Verstappen y Van Zuidan, 1992; Bloom, 1998; Zinck, 1989 y Carvajal, 2008.) La guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000, comprende ocho fases básicas para el levantamiento geomorfológico a escala 1: 100.000 incluyendo:

1. Selección de Información Básica
2. Constitución de la Base de Datos
3. Procesamiento Digital Imágenes
4. Fotointerpretación Básica
5. Verificación de Campo
6. Reinterpretación y Clasificación final
7. Análisis y Correlación
8. Elaboración del mapa e informe Final

Aunque se plantea un procedimiento general con los pasos y criterios básicos para un Levantamiento Geomorfológico a escala 1: 100.000, las principales fases del levantamiento requieren de experiencia previas y personal capacitado en geomorfología y sus ciencias afines, así como en formación relacionada con el procesamiento digital de imágenes, la fotointerpretación, el manejo de herramientas SIG y el trabajo de campo.

**Figura 4.1:** Fases de elaboración del mapa geomorfológico escala 1:100.000.



#### 4.1 Fase 1: Selección de Información Básica

Esta etapa se trata del inventario y recolección de la información existente sobre la zona de trabajo en cuanto a los informes técnicos de las entidades responsables además de los POTs de los municipios correspondientes. También se debe recolectar la información sobre cartografía base, cartografía temática significativa, imágenes de satélite, fotografías aéreas a escala mediana y semi-detallada de las entidades responsables, fundamentalmente del IGAC, el SGC (Ingeominas) y el IDEAM (Cuadro. 4.1).

Conjuntamente es conveniente revisar los artículos pertinentes de prensa nacional y local, sobre aspectos de la problemática ambiental tal como los problemas de erosión de suelos, deslizamientos e inundaciones. La cartográfica IGAC servirá tanto de mapa base como fuente de información vial, drenaje y curvas de nivel, información fundamental para las demás etapas incluyendo el trabajo de campo.

**Cuadro4.1. Fuentes de Información Básica para Geomorfología 1: 100.000**

| <b>FUENTE</b>                    | <b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>                          | <b>ESCALA/RESOLUCIÓN</b>                               |
|----------------------------------|---|--|
| <b>IGAC</b>                      | Cartografía e informe técnicos<br>Dem<br>Fotografía aérea | 1:100.000 a 1:500.000<br>30 mts<br>1:60.000 a 1:40.000 |
| <b>SGC (Ingeominas)</b>          | Cartografía e informe técnicos                            | 1:100.000 a 1:500.000                                  |
| <b>IDEAM</b>                     | Cartografía e informe técnicos<br>Landsat/Spot/rapideye   | 1:100.000 a 1:500.000<br>variable                      |
| <b>CARs</b>                      | Cartografía e informe técnicos<br>POTs, POMCAs            | 1:100.000 a 1:25.000                                   |
| <b>PRENSA</b>                    | Artículos de prensa                                       | 30 años  |
| <b>PUBLICACION INDEPENDIENTE</b> | Publicaciones (universidades y autores particulares)      | 30 años  |



## 4.2 Fase 2: Constitución de la base de datos

El uso de las tecnologías geoespaciales en la elaboración de mapas geomorfológicos es indispensable, en esta fase se contemplan los pasos asociados a la construcción y adecuación de la base de datos cartográfica que almacenará la información geomorfológica y toda la información asociada con la interpretación y representación cartográfica final a escala 1:100.000.

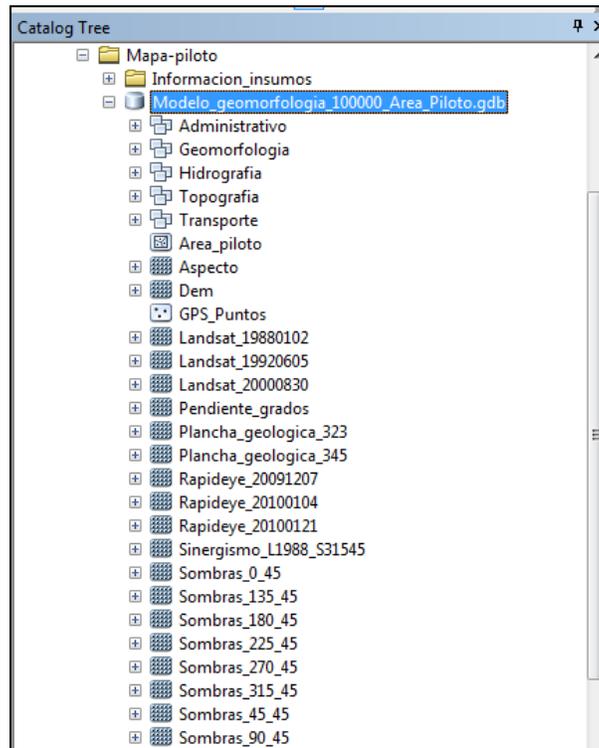
### 4.2.1 Etapa 1: Adecuación de la Base de Datos

En esta etapa se estructura toda la información que por su naturaleza y pertinencia será georeferenciada en una plataforma SIG. Para la adecuación, operación y aplicación de la base de datos se propone seguir las pautas y normatividad del IGAC-ICDE (Instituto Geográfico Agustín Codazzi; Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales) y los lineamientos empleados por el IDEAM en cuanto a la organización y almacenamiento general de la información geoespacial.

En primera medida, se debe establecer las planchas topográficas 1:100.000 del IGAC como la fuente primaria para la constitución de la base de datos. La cartografía base del país provee información fundamental concerniente a la topografía (curvas de nivel), hidrografía (red de drenaje, cuerpos de agua) e infraestructura (vías, poblaciones, construcciones). Esta información se encuentra georeferenciada y configurada según los estándares nacionales (sistema MAGNA-SIRGAS) y se debe conservar estos parámetros como base espacial primordial para la elaboración del mapa geomorfológico.

El modelo de Geodatabase empleado actualmente por el IGAC y soportado por la plataforma ArcGIS para la cartografía base 1:100.000, proporciona los instrumentos y herramientas necesarias para la organización, ajuste y procesamiento propios al uso de los diferentes productos mencionados en la fase 1: capas base (hidrografía, relieve, infraestructura), imágenes satelitales (Landsat, Spot, Rapideye...), modelos de elevación DEMs, mapas de pendientes o aspecto e información temática relevante como la geología o la información hidro-meteorológica. Para el desarrollo de esta etapa se sugiere emplear la Geodatabase suministrada por el IGAC correspondiente a la plancha 1:100.000 de interés, y realizar un ejercicio de depuración (generalización) con el fin de dejar solamente la información relevante para la interpretación, levantamiento y representación final del mapa geomorfológico.

**Figura 4.3** Ejemplo de una geodatabase constituida para la elaboración de un mapa geomorfológico a escala 1:100.000 (Catalogo de la plataforma ArcGIS).

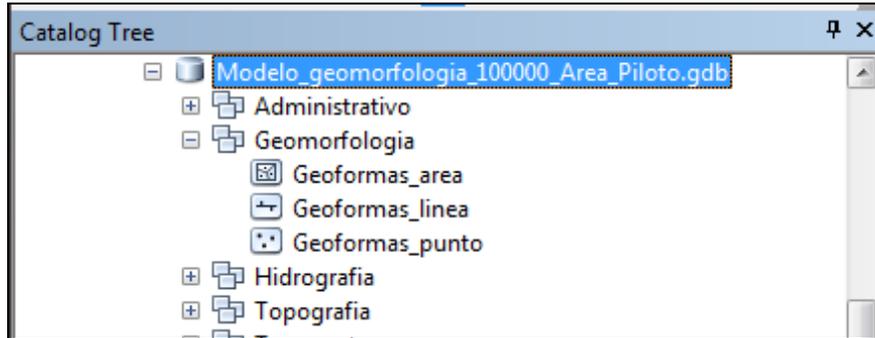


Por disponibilidad y uso generalizado se sugiere desarrollar estas etapas y las que siguen empleando la plataforma ArcGIS (Software SIG de la compañía ESRI), sin embargo, en la actualidad se cuenta con una gran gama de opciones a nivel de software, aplicaciones, productos y recursos que en ese sentido pueden ser alternativas significativas para llevar a cabo la elaboración de la base cartográfica digital y posteriormente el mapa geomorfológico a escala 1:100.000, ejemplo de lo anterior lo presenta el software Ilwis de libre acceso y diversidad en sus aplicaciones.

#### 4.2.2 Etapa 2: Adecuación de las coberturas geomorfológicas

Para el desarrollo de esta etapa se requiere adaptar en la Geodatabase un conjunto de rasgos que contendrá los elementos geomorfológicos a nivel de áreas, líneas y puntos. Este grupo de rasgos debe seguir los parámetros de referencia espacial de los otros elementos de la Geodatabase, así mismo, cada cobertura geomorfológica deberá contener los atributos sugeridos en esta guía metodológica para caracterizar los elementos geomorfológicos que se interpreten (pendiente, patrones de drenaje, grado de disección).

**Figura 4.4 Grupo de rasgos geomorfológicos implementados en una geodatabase.**



Para aquellos casos en los cuales no se disponga de las facilidades para el manejo del modelo Geodatabase, se recomienda desarrollar esta etapa utilizando el formato universal estándar *shapefile*, generando coberturas independientes para los rasgos geomorfológicos de áreas, líneas y polígonos.

Los atributos que quedarán condensados en este tipo de archivos (coberturas de la geodatabase o shapefiles) son los mencionados en el cuadro 4.2:

**Cuadro 4.2. Campos requeridos para las coberturas geomorfológicas.**

|                            | <b>COBERTURA POLIGONAL</b> | <b>COBERTURA LINEAL</b> | <b>COBERTURA PUNTUAL</b> |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>Campos de atributos</b> | GEOFORMA_100000            | GEOFORMA_100000         | GEOFORMA_100000          |
|                            | SIMBOLO_100000             | Ambiente                | Ambiente                 |
|                            | Ambiente                   | Subambiente             | Subambiente              |
|                            | Simbolo_ambiente           | Unidad                  | Unidad                   |
|                            | Subambiente                | Componente              | Componente               |
|                            | Simbolo_subambiente        |                         |                          |
|                            | Unidad                     |                         |                          |
|                            | Simbolo_unidad             |                         |                          |
|                            | Componente                 |                         |                          |
|                            | Simbolo_componente         |                         |                          |
|                            | Pendiente                  |                         |                          |
|                            | Patrón_de_drenaje          |                         |                          |
|                            | Grado_de_diseccion         |                         |                          |
|                            | Litología                  |                         |                          |
|                            | Depositos_superficiales    |                         |                          |
| Procesos_actuales          |                            |                         |                          |

### **4.3 Fase 3: Procesamiento digital de los productos de sensores remotos**

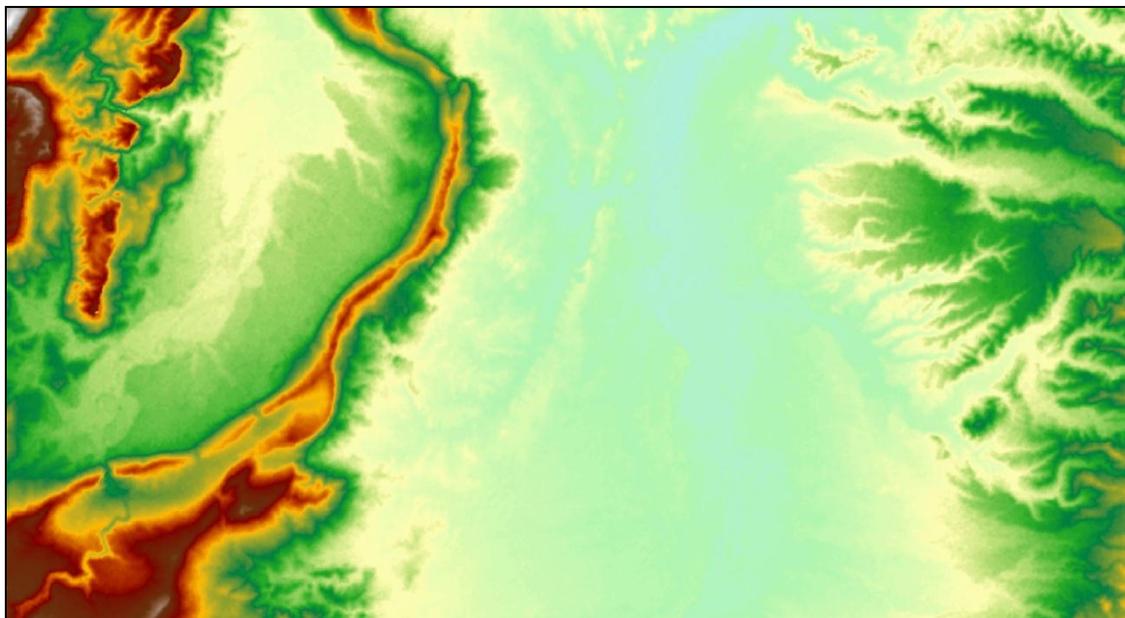
Los sensores remotos posibilitan en la actualidad una continua adquisición de datos de la superficie terrestre, que en formato digital permiten una rápida integración de la información en los SIG. Los productos y técnicas de sensores remotos (imágenes de satélite, imágenes de radar, modelos de elevación y fotografías aéreas) permiten la identificación de los elementos geomorfológicos y sus características a diferentes escalas, en esta fase se propone la aplicación de diferentes tipos de restauración, realce y transformación de imágenes en una serie de pasos que ayudarán fundamentalmente en la visualización de los rasgos geomorfológicos de un espacio determinado.

#### **4.3.1 Etapa 1: Ajustes**

Para esta etapa, se considera fundamental la restauración y realce de los diversos productos provenientes de los sensores remotos. Después de la recopilación del material digital en la base de datos respectiva (información en formato raster), se sugiere aplicar algunas herramientas que permitan generar una representación fiel de la superficie terrestre tanto como sea posible. Para poder realizar las operaciones mencionadas, es necesario disponer de software destinado al procesamiento de imágenes (SPI), sin embargo, en la actualidad los software SIG presentan una mezcla de capacidades propias de los SIG y de los SPI, por ejemplo ArcGIS, Erdas, Envi, Idrisi, Ilwis, entre otros.

En primera instancia se sugieren ejecutar aplicaciones que restauren los productos, la gran mayoría de imágenes como Landsat y Spot se adquieren con correcciones geométricas de restauración, no obstante, problemas de bandeo, ruido aleatorio, líneas de barrido perdidas, valores incrementados y distorsiones en general se pueden corregir con los métodos de restauración proporcionados en las herramientas de los diversos software.

En una segunda instancia se recomienda realzar los productos con la finalidad de hacerlos más adecuados para las capacidades de la visión humana. Las técnicas de realce son múltiples sin embargo se agrupan esencialmente en la expansión de los contrastes y la aplicación de filtros digitales.



**Figura 4.5** Fragmento del modelo SRTM 30 mts de la NASA con realce y contraste.

Las opciones de mejorar los productos originales son diversas y depende de las características de los productos, de lo que se desea y de las herramientas con que se cuenta. La plataforma ArcGIS proporciona aplicaciones elementales para los mencionados procedimientos. No obstante, si es posible y como ya se menciona, se aconseja hacer uso de software y herramientas especializadas como lo es el software ERDAS con sus aplicaciones y módulos especializados.

#### **4.3.2 Etapa 2: Generación de subproductos de apoyo temático**

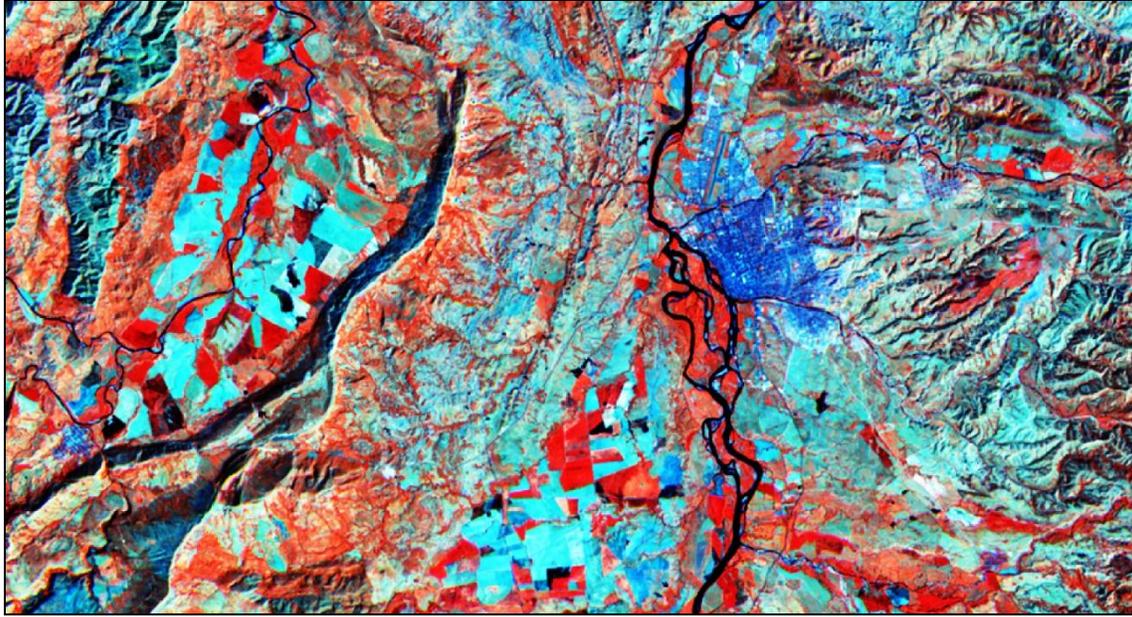
El procesamiento digital de imágenes ofrece igualmente un rango ilimitado a nivel de transformaciones de la información proveniente de los sensores remotos. En esta etapa se recomienda generar algunos subproductos que servirán para la interpretación de los elementos geomorfológicos a escala 1:100.000.

En la plataforma ArcGIS y en la gran mayoría de los software SIG es posible producir a partir de los modelos de elevación DEMs, modelos de sombras multidireccionales, modelos de pendientes y modelos de aspecto que son muy útiles para representar las características topográficas del relieve.

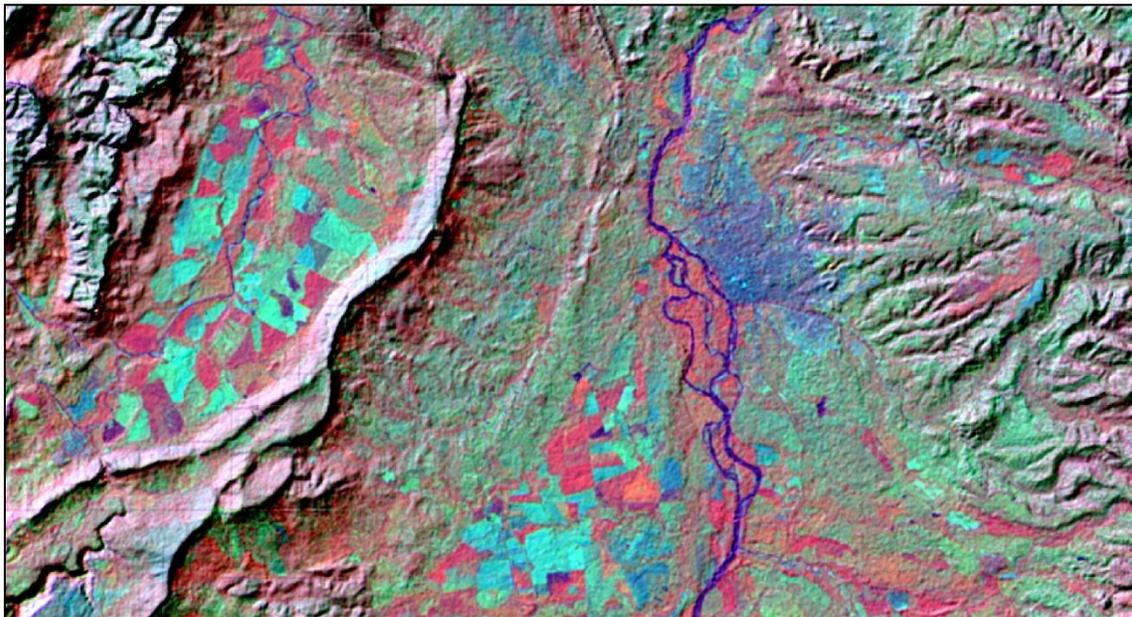


**Figura 4.6** Modelo de sombras generado a partir del modelo de elevación SRTM.

Como se ha indicado, las imágenes convencionales de escala regional y de fácil acceso son las de los proyectos Landsat/Spot. Estas imágenes se incluyen como un complemento de información que por sus características de longitudes de onda se relacionan más con el uso y cobertura de la tierra, es decir la vegetación y no tanto la morfología y el relieve. Sin embargo, en ciertos ambientes estas características de la superficie como vegetación, patrones, colores pueden complementar la información física como por ejemplo en las aéreas de paramo, zonas aluviales con cultivos y los pantanos. En tal sentido, se sugiere la generación de un producto de composición multiespectral que resalte la vegetación y las estructuras, el cual generalmente obedece a la combinación de las bandas espectrales en Landsat 457 o 453 las cuales generan buenos resultados, teniendo en cuenta que según los casos, en algunos ambientes geomorfológicos se pueden requerir combinaciones diferentes.



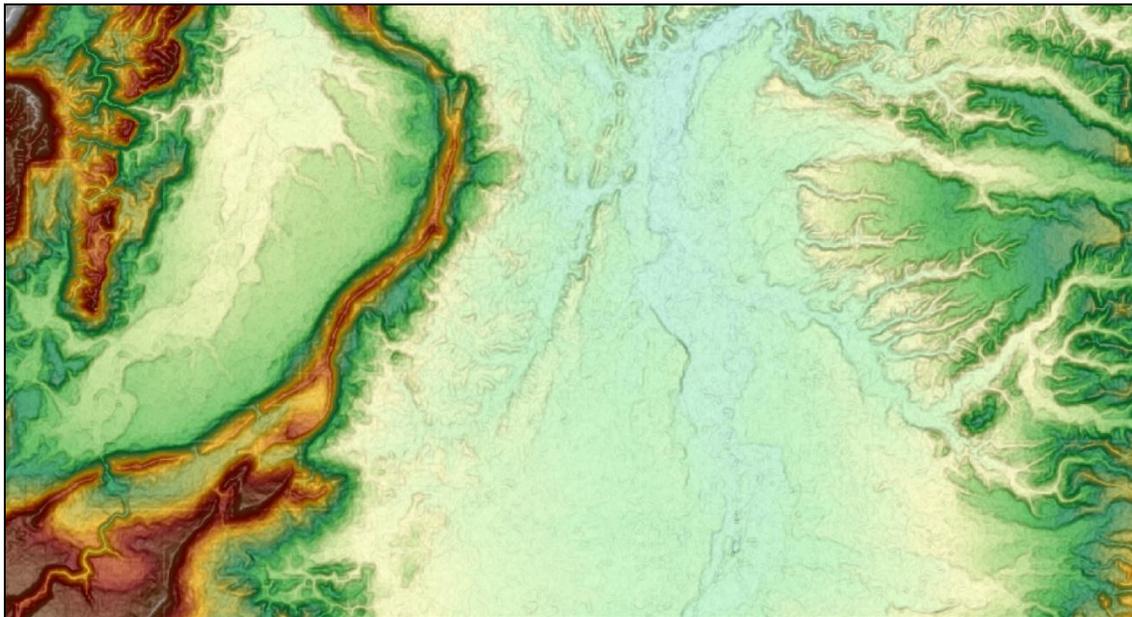
**Figura 4.7** Composición de una imagen Landsat en falso color bandas 457 RGB.



**Figura 4.8** Sinergismo entre imagen la composición Landsat 457 y el modelo de sombras del SRTM.

Otro procedimiento de gran utilidad en el tratamiento de imágenes y que facilita la visualización de las geoformas es la generación de sinergismos entre las bandas de una imagen o entre composiciones y modelos generados por los DEMs como lo es el de sombras o el de pendientes.

Este tipo de insumos y subproductos señalados pueden ser también ajustados y realizados con las diferentes técnicas de contraste y filtros. Muchos métodos de visualización en los software proporcionan contrastes automatizados así como la posibilidad de superponer las imágenes con transparencias las cuales son también muy útiles para combinar información y realzar los rasgos geomorfológicos.



**Figura 4.9** Superposición con transparencia y contrastes automatizados entre el modelo de elevación SRTM y el modelo de pendientes.

Otros tipos de superposición se pueden generar con la información geológica y hidroclimatológica disponible, información indicativa para la clasificación geomorfológica.

Todos los procedimientos y tratamientos de la información requieren de un manejo experto tanto en los aspectos de tecnologías geoespaciales como en el de interpretación geomorfológica dado que el fin primordial es la aplicación de los insumos y las herramientas a la caracterización de geoformas específicas y a procesos morfodinámicos.

### **4.3.3 Etapa 3: Vinculación de material aerofotográfico**

Esta técnica se considera fundamental para aquellas zonas que presentan un alto grado de complejidad como son los piedemontes, las zonas con remoción en masa o las de actividad neotectónica. Para tal efecto, se debe contar con una cobertura aerofotográfica de buena calidad, preferiblemente a escalas intermedias a pequeñas (1:40.000 a 1:60.000). La interpretación de este material será de gran importancia en las zonas con una morfodinámica detallada tal como en la actividad fluvial, los fenómenos de remoción en masa y la deformación neotectónica, de nuevo con personal experimentado. El tratamiento de este insumo puede comprender técnicas tradicionales utilizando estereoscopios de espejos y si existe la disponibilidad a través de software y equipos utilizando las técnicas de interpretación estereoscópica a nivel digital.

## **4.4 Fase 4: Fotointerpretación básica**

Para el levantamiento geomorfológico básico, a escala 1: 100.000, se plantea la siguiente metodología general, sujeta a ajustes por las condiciones locales del terreno y materiales básicos disponibles. En general, se sugiere un método analítico de interpretación de imágenes con la siguiente secuencia: 1) Modelo de elevación/pendientes, 2) Sinergismo Landsat/Sombras y 3) Complementación de fotointerpretación tradicional con aerofotografías, con su respectiva comprobación de campo. Este método secuencial puede ser modificado por la disponibilidad de materiales y/o reinterpretado en una secuencia diferente con el fin de aclarar las dudas que la interpretación de una sola imagen puede dar.

### **4.4.1 Etapa 1: Interpretación de los modelos de Elevación/Pendientes**

El primer nivel de aproximación funciona a partir de la interpretación regional de las imágenes de elevación y sus rasgos morfológicos principales, lo cual permite identificar las grandes tendencias del relieve; es decir las unidades más regionales tales como bloques montañosos y topografía mas plana asociada con valles aluviales y llanuras litorales. El complemento del modelo de pendiente, vista como una superposición a la información anterior permite detallar los límites de estos macro-geoformas. En general, estas técnicas tienen buenos resultados en zonas montañosas y relieves fuertes a moderados pero presentan dificultades para la interpretación de las zonas más planas, aspecto que será tratado a continuación.

La delimitación de las geoformas a este nivel debe proporcionar información a nivel de Ambientes Morfogénéticos generales, tales como los ambientes Estructural (S), Volcánico (V), Fluvial (F), Marino (M), entre otros y localmente hasta los niveles preliminares de Subambientes morfogénéticos. La comparación con los mapas geológicos a este nivel también puede complementar la información sin ser necesariamente definitiva.

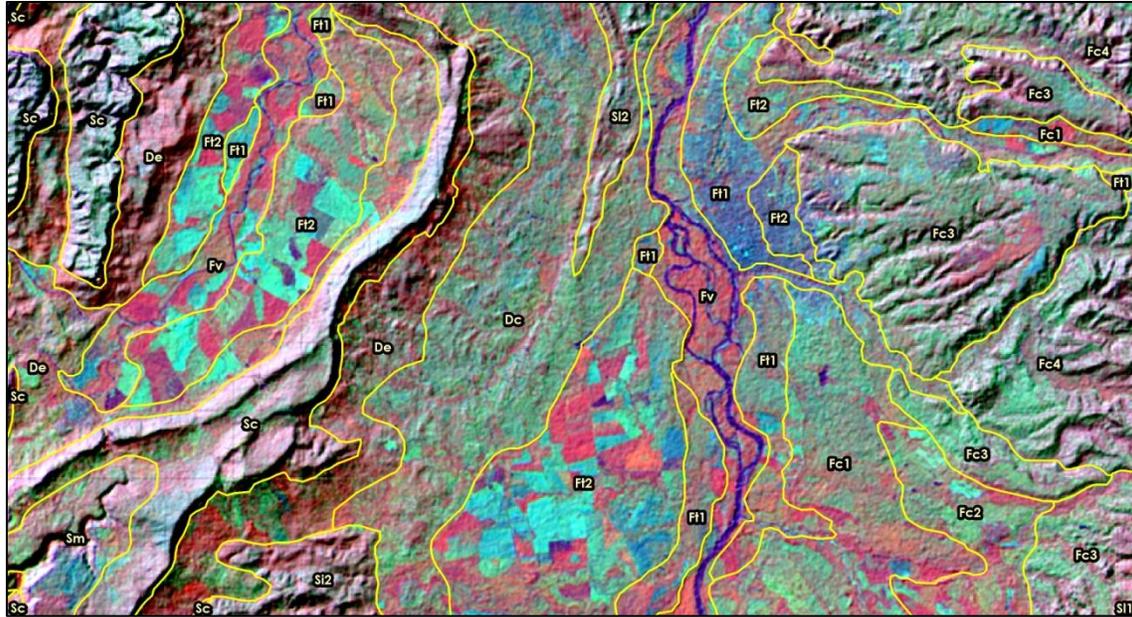
#### 4.4.2 Etapa 2: Interpretación de imágenes Landsat/Sombras

Aunque se puede probar una gran gama de combinaciones, las técnicas generales de realce y falso color tradicional en Landsat u otro tipo de imagen multi-espectral como SPOT generan buenos contrastes y resolución para la escala 1:100.000 y aportan elementos adicionales de juicio para las clasificación de las geoformas, especialmente en zonas planas. La gran aplicación de las imágenes Landsat/Sombras se aprecia en los aspectos sutiles de la vegetación tales como se observa en los cultivos mecanizados de forma geométrica, indicio de zonas aluviales con sedimentos finos mientras el rastrojo y los frutales se relacionan más con suelos pedregosos. La respuesta de la vegetación a la humedad también se puede apreciar en las imágenes multi-espectrales donde eso ayuda a diferenciar las geoformas de Vegas aluviales (Fv) y las llanuras de inundación (Fa). El componente de sombras en estas imágenes de sinergismo también sirve para resaltar la disección del terreno y afinar las características morfológicas, ya analizadas con las imágenes elevación/pendientes pero localmente puede sugerir subdivisiones innecesarias, que solo el trabajo de campo puede resolver.

La clasificación generada a este nivel generalmente sirve para subdividir los grandes ambientes morfogenéticos, es decir identificar las unidades a nivel de Subambientes tales como las llanuras de inundación (Fi) y las terrazas aluviales (Ft) e inclusive llegar al nivel de unidades geomorfológicas tales como Terrazas aluviales alta (Ft3), media (Ft2) y baja (Ft1) en algunos casos. Estas clasificaciones preliminares pueden confrontarse de nuevo con las imágenes de elevación/pendientes para afinar las interpretaciones, las cuales deben verificarse en el trabajo de campo.

| RANGO     | NOMBRE     | CARACTERÍSTICAS GENERALES   | GEOFORMAS COMUNES             |
|-----------|------------|---|-------------------------------|
| 0 - 1 %   | Nulo       | Terrenos asociados con encharcamiento y pantanos                                    | Llanuras de inundación        |
| 1- 15 %   | Leve       | Terrenos asociados con depósitos aluviales clasto-soportados                        | Vegas y piedemontes aluviales |
| 15 - 30 % | Moderada   | Terrenos con depósitos pedregosos matriz soportados                                 | Conos Torrenciales            |
| 30-60 %   | Fuerte     | Terrenos con sedimentos variables incluyendo coluviones y sustratos arcillo-limosos | Laderas coluviales finas      |
| 60 - 99 % | Muy fuerte | Terrenos con depósitos coluviales gruesos y sustrato arcillo-limoso                 | Laderas coluviales gruesas    |

**Cuadro 4.3 Grados de Disección para Geomorfología 1: 100.000**



**Figura 4.10 Interpretación geomorfológica apoyada en el sinergismo de imagen Landsat con realces y modelo de sombras.**

#### **4.4.3 Etapa 3: Interpretación de fotografías aéreas**

La interpretación de fotografías aéreas con visión estereoscópica se recomienda para zonas complejas donde la identificación e interpretación de las geoformas a nivel de SubAmbiente se dificulta usando las técnicas anteriores. Ejemplos de lo anterior pueden incluir zonas glaciadas donde las geoformas se superponen a los ambientes estructurales o volcánicos, o las zonas aluvio-lacustres y zonas urbanas donde los modelo de sinergismo Landsat/Sombras o de Elevación tienen poca resolución topográfica para las variaciones métricas entre vegas y terrazas bajas.

Las aerofotografías también aportan información de tipo multitemporal, útil en muchas zonas con fuerte intervención antrópicas y procesos morfodinámicos muy activos, tal como la remoción en masa. Sin embargo, su uso debe ser restringido a resolver los problemas de detalle, dado el mayor tiempo requerido para su procesamiento e interpretación. En este caso, las guías de van Zuidan (1985) pueden proporcionar las bases para la interpretación geomorfológica básica.

## 4.5 Fase 5: Verificación de campo

Para los levantamientos geomorfológicos actuales se recomienda el desarrollo de un trabajo de campo que incorpore tanto el reconocimiento general como el levantamiento semi-detallado de las geoformas identificadas durante la fase de fotointerpretación. Los aspectos para tener en cuenta incluyen: Morfología General, Depósitos Superficiales, Sustrato Rocoso, Procesos Morfodinámicos Activos y Cobertura y Suelo superficiales (Cuadro 4.4 y 4.5).

Como en la mayoría de los levantamientos de recursos naturales, las observaciones de campo no requieren de un chequeo individual por cada unidad foto-interpretada sino la posibilidad de extrapolación de los conceptos y atributos de unidades representativas a unidades similares. Aunque generalmente no se dispone de muchos recursos ni tiempo para adelantar estudios de laboratorio, el trabajo de campo puede identificar materiales especiales que requieren de un análisis de laboratorio tales como ceniza volcánica, depósitos desconocidos o material orgánico susceptible a dataciones por lo cual se debe procurar su recolección y análisis.

En el cuadro 4.4, se resalta los elementos que deben ser verificados y medidos en el terreno, en especial la pendiente de la geoforma objeto de clasificación. En este caso, se trata de la pendiente general de la geoforma en el sentido del drenaje. En general se recomienda varias mediciones para determinar el rango sobre la cual se desarrolla. Durante esta etapa de observación, es importante la capacidad del geomorfólogo para distinguir la pendiente regional de la geoforma y las variaciones locales que pueden indicar procesos locales de erosión o deformación. De gran importancia, se debe registrar la disección del drenaje primario y en especial secundario, es decir el drenaje que nace sobre la propia geoforma y puede servir de indicador de la edad relativa de la geoforma.

La composición de los depósitos superficiales es también de vital importancia ya que una exanimación y clasificación precisa de estos materiales permite una comprensión de la génesis de la geoforma. Para su clasificación se sugieren los manuales de sedimentología y análisis de facies de uso común en los departamentos de Ciencias de la Tierra, en especial Facies Models (Walker, 1984). En estos tipos de análisis, se debe precisar tanto la composición de los clastos como su redondez, estructura y la relación entre la matriz y los clastos. La composición obviamente da información sobre la procedencia de los materiales, por ejemplo fluvio-volcánicos. La redondez es también un buen indicador del tiempo y distancia que han sido transportado los sedimentos mientras la relación de matriz vs grano es un buen indicio del ambiente de transporte, es decir, fluvial, torrencial o flujos de escombros.

La presencia de un sustrato rocoso en contacto con los depósitos superficiales también aporta información sobre la génesis de las geoformas. El contacto inferior de los depósitos

proporciona datos sobre el espesor de los mismos como también la posible incorporación de material local.

Los procesos morfodinámicos activos sobre las geoforma también deben ser documentados, tales como la presencia de erosión laminar, cárcavas, soliflucción o deslizamientos activos o recientes. Los fenómenos de desborde e inundación también deben incluirse aquí al igual que los procesos de sedimentación de los cauces y la divagación reciente de esos. Para cada ambiente, habrá fenómenos similares que pueden registrarse como la reactivación de las dunas, la erosión de playas y el retroceso de los glaciares.

Finalmente, se debe registrar en lo posible el desarrollo relativo de los suelos y meteorización superficial de los depósitos superficiales. Estos datos son buenos indicadores de la edad relativa de las geoformas y las condiciones ambientales que han afectado las geoformas. Aunque que el tipo taxonómica del suelo puede ser un indicador de una evolución prologada, tal como sucede en los Oxisoles, Alfisoles y Molisoles, el espesor y grado de meteorización probablemente proporcionaran información mas significativa para el levantamiento geomorfológico. Como en todo, se requiere personal con cierto grado de formación y experiencia en los levantamientos geomorfológicos o en su defecto, un equipo compuesto por expertos en los distintos campos.



**Foto 4.1:** Vista general de la cuenca media del rio Las Ceibas al este de Neiva, Huila, con el SubAmbiente de Crestas sedimentarias (Sc) con un deslizamiento activo.

**Cuadro 4.4** Guía General para Verificación Geomorfológica de Campo; 1: 100.000

| <b>TEMAS</b>                              | <b>IMPORTANCIA</b>  | <b>DATOS POSIBLES</b>   |
|---|---|---|
| <b>Reconocimiento General</b>             | Visión general del área   | Accesos viales y distribución de geoformas y procesos morfodinámicos generales.   |
| <b>Morfología General</b>                 | Pendiente de la geoforma  | Pendiente en grados de la geoforma y su rango de variación.   |
| <b>Depósitos Superficiales</b>            | Génesis general de la geoforma,   | Composición, granulometría, estructura de depósitos superficiales, grado de meteorización y otros (p ej. – deformación neotectónica o materia orgánica-C14) |
| <b>Sustrato Rocoso</b>                    | Contexto estructural en la formación de la geoforma   | Litología, estructura y grado de meteorización general del sustrato rocoso.   |
| <b>Procesos Morfodinámicos Activos</b>    | Identificación de proceso activos de erosión o acumulación                                  | Procesos de remoción en masa: (soliflucción, deslizamiento, flujo y caídas) y erosión hídrica (laminar, surco o cárcavas)                                   |
| <b>Cobertura y Actividades antrópicas</b> | Indicadores de condiciones ambientales y/o antrópicas agravantes para los procesos erosivos | Cobertura vegetal, cultivos o asentamiento humanos  |
| <b>Suelos y meteorización</b>             | Procesos recientes y edad de la geoforma  | Espesor y color   |



**Foto 4.2:** En la foto se aprecia la zona urbana de Neiva, Huila, con un desnivel que marca el límite de las Terrazas aluviales medias (Ft2), próximo a las oficinas del IDEAM.



**Foto 4.3:** Vista general del rio Las Ceibas, vereda Pueblo Viejo, Neiva, Huila, en la cordillera Oriental con su vega muy estrecha y las laderas disectadas en roca granítica (Si2).



**Foto 4.4:** En la foto se aprecia la superficie pedregosa de la Terraza alta (Ft3) compuesta por bloques y cantos subredondeados de granito y gneis, fuertemente alterados en el sector urbano de Baganviles, Neiva, Huila. Los bloques en una matriz fina sugieren un subambiente de aporte torrencial desde la Cordillera Oriental, Foto K Robertson.

**Cuadro 4.5** Categorías Preliminares de Pendiente para Geomorfología 1: 100.000.

| RANGO    | NOMBRE               | CARACTERÍSTICAS GENERALES   | GEOFORMAS COMUNES             |
|----------|----------------------|---|-------------------------------|
| 0 - 0.5° | Muy Baja             | Terrenos asociados con encharcamiento y pantanos                                    | Llanuras de inundación        |
| 0.5 - 2° | Baja                 | Terrenos asociados con depósitos aluviales clasto-soportados                        | Vegas y piedemontes aluviales |
| 2 - 7°   | Levemente moderada   | Terrenos con depósitos pedregosos matriz soportados                                 | Conos Torrenciales            |
| 7 - 14°  | Moderada             | Terrenos con sedimentos variables incluyendo coluviones y sustratos arcillo-limosos | Laderas coluviales finas      |
| 14 - 30° | Moderadamente fuerte | Terrenos con depósitos coluviales gruesos y sustrato arcillo-limoso                 | Laderas coluviales gruesas    |
| 30 - 60° | Fuerte               | Terrenos con sustrato rocoso superficial  | Laderas rocosas               |
| >60°     | Muy fuerte           | Terrenos con afloramiento rocoso superficial  | Escarpes rocosos              |

#### 4.6 Fase 6: Reinterpretación y clasificación

Con base en la verificación de campo, se inicia una fase de reinterpretación de la fotointerpretación inicial, lo cual debe incluir los siguientes aspectos:

- ✓ Revisión de la interpretación con base en observaciones de campo incluyendo el ajuste de los límites de las unidades cartográficas.
- ✓ Revisión con fotografías aéreas en áreas críticas, en especial límites fluviales con variaciones topográficas pequeñas.
- ✓ Revisión de los atributos de las unidades geomorfológicas de acuerdo con las observaciones de campo.
- ✓ Clasificación definitiva de las unidades según sus características morfoestructurales, morfodinámicas y morfo-cronológicas.



**Foto 4.5:** En la foto se aprecia el valle superior del Magdalena con la cordillera Oriental al este (der.) con el Subambiente de Cuchillas ígneas (Si), seguido por los Conos torrenciales (Fc), próximo al municipio de Rivera, Huila, deformación por neotectónica, Foto M. Castiblanco.

La correlación de unidades por atributos contempla el análisis de la información mediante la correlación de la información foto-interpretada y recolectada en campo de las distintas geoformas. Este aspecto debe incluir la revisión y complementación de la base de datos desarrollado inicialmente en la fase de fotointerpretación y la información de campo. En lo posible, información adicional de laboratorio puede ser incorporado en esta fase cuando sea disponible.

El desarrollo de un Modelo Morfogenético y Morfodinámico abarca la correlación de los ambientes morfogenéticos en un modelo general que explique la evolución y génesis de las geoformas presentes y los procesos morfodinámicos actuales. Como parte integral, se recomienda la construcción de Perfiles Morfogenéticos de tipo semidetallado (toposecuencias o catenas) que permiten una explicación visual de la evolución del paisaje físico.

También, apoyado en la información recolectada en campo y los reportes institucionales, las unidades pueden ser clasificadas de acuerdo a su susceptibilidad a la remoción en masa y las inundaciones. Dada la escala regional del trabajo, este aspecto solo puede tener un carácter indicativo, pero de gran importancia para futuros estudios a escalas más detalladas.

**Cuadro 4.6** Patrones de Drenaje para Geomorfología 1: 100.000

| RANGO | NOMBRE       | CARACTERÍSTICAS GENERALES                        | GEOFORMAS COMUNES                    |
|-------|--------------|--|--------------------------------------|
| 1     | Radial       | Lavas y piroclastos                              | Conos volcánicos                     |
| 2     | Anular       | Rocas sedimentarias y/o volcánicos inclinados    | Domos y conos volcánicos disectados  |
| 3     | Rectangular  | Rocas fuertemente fracturadas                    | Macizos ígneos y metamórficos        |
| 4     | Enrejado     | Rocas sedimentarias duras y blandas intercaladas | Rocas sedimentarias plegadas         |
| 5     | Paralelo     | Laderas estructurales y coluviales               | Laderas coluviales                   |
| 6     | Dentrítico   | Rocas intrusivos y sedimentos homogéneas         | Macizos ígneos o llanuras disectadas |
| 7     | Interno      | Calcáreo   | Dolinas y cárstico                   |
| 8     | Distributivo | Aluvio-torrencial                                | Piedemontes aluvio-torrencial        |
| 9     | Trenzado     | Aluvial  | Vegas de piedemontes                 |
| 10    | Meándricos   | Aluvial  | Llanuras de inundación               |
| 11    | “Recto”      | Aluvial  | Llanuras de inundación               |
| 12    | Pantanosos   | Aluvio-lacustre                                  | Llanuras de inundación               |
| 13    | Otro         |  |                                      |



**Foto 4.6:** Vista general del río Neiva con su vega activa (Fv) de tendencia trenzada y terrazas aluviales bajas al fondo (Ft1) próximo a Campoalegre, Huila. Foto K Robertson.



**Foto 4.7:** En la foto se aprecia el SubAmbiente de cuchillas ígneas (Si) con procesos erosivos en el cañón del río Neiva, próximo al municipio de Algeciras, Huila. Foto K Robertson.



**Foto 4.8:** Vista panorámica del valle de Palermo, Huila, con sus terrazas aluviales bajas (Ft1) en primer plano y las subambientes de serranías y crestas (Sc) al fondo. Foto K Robertson

#### 4.7 Fase 7: Análisis y Correlación

Entre los objetivos generales de un levantamiento geomorfológico, se debe incluir el desarrollo de un modelo de evolución geomorfológico de la zona de estudio mediante el análisis y correlación de sus geoformas. Este ejercicio obliga al investigador a integrar los aspectos morfoestructurales y dinámicos en una secuencia cronológica que permite explicar la génesis del paisaje geomorfológico actual y su dinámica actual y futura con miras a sus aplicación para los mapas de amenazas ambientales. A continuación se señalan algunos componentes importantes en esta fase de análisis y correlación:

1. Análisis y correlación de las etapas de génesis tectónico del relieve y su disección. Este análisis depende de la caracterización de los procesos morfoestructurales de levantamiento y plegamiento y la historia de disección generada por el sistema de drenaje (Robertson, 1992). Debe hacerse énfasis en el control estructural del drenaje como también las condiciones frecuentes de antecedencia como elementos explicativos.
2. Evolución de los procesos de acumulación a nivel regional y local. Este componente requiere de un análisis morfo-cronológico de las geoformas, en especial las unidades

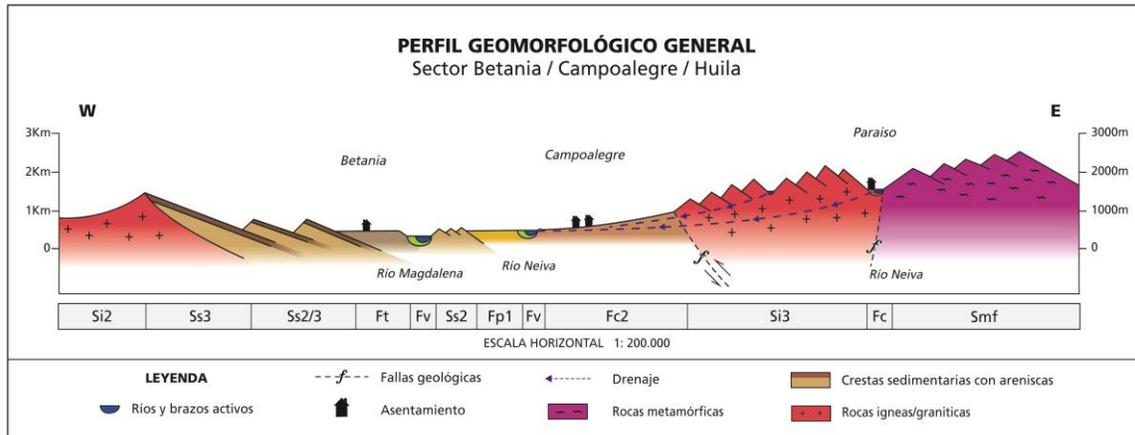
aluviales mediante criterios de disección, entalle sucesivo y superposición de geoformas.

3. Comprensión de los impactos antrópicos recientes. En general, este aspecto solo puede ser abordado en forma general en esta fase al conformar un atributo adicional de las geoformas básicas. Puede considerarse un aspecto indicativo pero importante para futuros estudios de detalle.

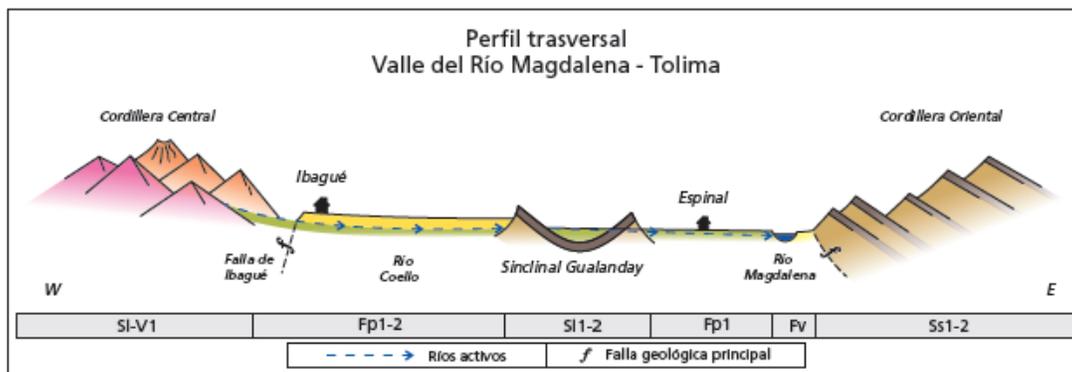


**Foto 4.9:** Afloramiento de lahar (fluvio-volcánico) en la terraza baja (Ft1) en la zona urbana de Neiva, próximo a la confluencia del río Loro con el río Magdalena, Foto M. Castiblanco

4. Morfogénesis general de la región. Este concepto se considera la síntesis de los procesos antiguos y presentes en la génesis de la morfología existente. Debe ser respaldado por un Perfil de Morfogénesis Regional que señale las relaciones morfogenéticas básicas entre las distintas unidades geomorfológicas.
5. Los perfiles deben incluir los elementos morfoestructurales principales, es decir plegamiento y fallamiento y las toposecuencias de las geoformas con su respectiva nomenclatura y leyenda. Su importancia para la evolución del paisaje geomorfológico se comprende en la medida que logre integrar los distintos procesos exógenos y endógenos en un sistema de geoformas. A continuación se presentan dos ejemplos desarrollados en el valle alto del río Magdalena.



**Figura 4.10: Perfil Geomorfológico del Valle Alto del río Magdalena, Sector Neiva.** Se observa el relleno aluvio-torrencial sobre el flanco oriental del valle, proveniente de la cordillera Oriental (der.) en proceso de levantamiento (falla inversa de Rivera y la falla transcurrente de Algeciras), obligando el río Magdalena a recostarse sobre el flanco de cordillera Central. Los distintos niveles aluviales con influencia fluvio-volcánico se representan en forma generalizada en esta figura.



**Figura 4.11: Perfil Geomorfológico del Valle del río Magdalena, Sector Tolima.** Se encuentra el río Magdalena a recostarse sobre el flanco de cordillera Oriental por los aportes fluvio-volcánicos, en la forma de abanicos de piedemonte, provenientes del eje volcánico de la Cordillera Central. Localmente se conservan anticlinales y sinclinales de rocas terciarias de Gualanday que bloquean localmente los aportes fluvio-volcánicos.

## **4.8 Fase 8: Elaboración del mapa e informe final**

En esta fase se inicia con la elaboración de la salida cartográfica final a escala 1:100.000. Gran parte del trabajo se concentra en la digitalización definitiva, en la edición final de los rasgos geomorfológicos, en el ajuste de los atributos, en la aplicación de una leyenda y en el diseño final del mapa.

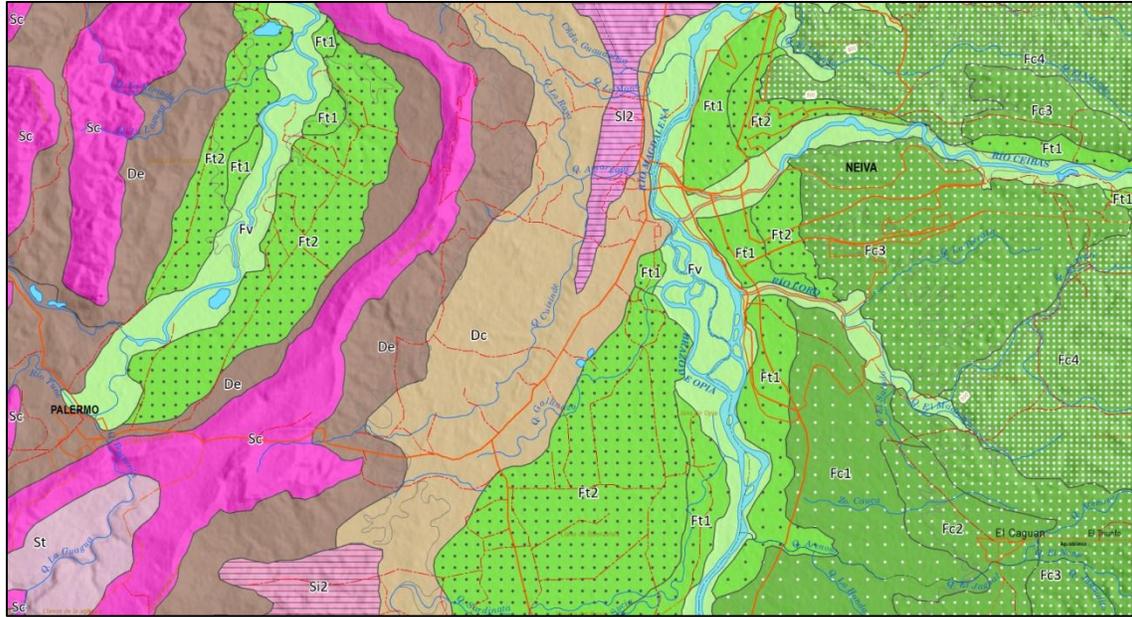
### **4.8.1 Etapa 1: Digitalización definitiva, ajuste de atributos y revisión topológica**

Para esta etapa se debe precisar en el trazado y distribución equilibrada de los vértices del dibujo, con el fin de representar con mayor exactitud la unidad visualizada en las imágenes. Teniendo los rasgos geomorfológicos definidos se da paso al ajuste y comprobación de atributos, en ese sentido, se sugiere visualizar las tablas respectivas, completando aquella información faltante y/o corrigiendo aquella que pueda estar errada o mal digitado (códigos, símbolos, nombres, descripción de variables). Es recomendable repasar cada rasgo dibujado verificando su veracidad temática con respecto a los atributos asignados.

Al finalizar la digitalización se recomienda generar un control topológico de las unidades empleando las reglas básicas de la *Geodatabase* donde se evalúa la correcta adyacencia entre unidades y se corrige si es necesario los posibles vacíos, sobreposiciones, o inadecuada codificación.

### **4.8.2 Etapa 2: Aplicación de leyendas y diseño final del mapa**

En esta etapa se adaptan las leyendas geomorfológicas propuestas a escala 1:100.000, en los software SIG esto archivos predefinidos pueden vincularse desde los editores de simbolización y representación. En esta última etapa es necesario igualmente aplicar aquellas plantillas y técnicas propias del dibujo y diseño cartográfico, basándose fundamentalmente en los estándares institucionales respectivos. La salida cartográfica geomorfológica final a escala 1:100.000 deberá contener rigurosamente los elementos propios de una plancha temática: título(s), información gráfica, leyenda, convenciones, información marginal, entre otros.



**Figura 4.11** Fragmento de una salida cartográfica final (mapa geomorfológico). Para la confección final del Mapa Geomorfológico a escala 1: 100.000 debe seguir los lineamientos y estándares definidos en la metodología.

#### 4.8.3 Informe Final

Como complemento, se debe incluir una memoria completa de los resultados presentes en el mapa geomorfológico incluyendo unidades geomorfológicas, génesis y las observaciones sobre la morfodinámica actual. Adicionalmente se debe incluir un resumen del procedimiento de levantamiento e investigación adelantada para su elaboración. Aunque las anteriores fases y etapas constituyen la base de este informe o memoria del mapa geomorfológico, el informe podrá presentarse en forma convencional con los siguientes elementos.

1. Resumen
2. Metodología y base de datos
3. Unidades Geomorfológicas
4. Procesos Morfodinámicos Actuales
5. Evolución Morfogenética
6. Conclusiones
7. Cartografía Final
8. Referencias Bibliográficas

## 5. CLASIFICACIÓN, CODIFICACIÓN Y SIMBOLOGÍA

### 5.1 Clasificación

En busca de lograr una estandarización de la información geoespacial referida a los aspectos geomorfológicos, se presenta en el cuadro 5.1 una clasificación y definición de unidades tentativa.

Cuadro 5.1 Clasificación y Definición de Unidades Geomorfológicas

| <b>AMBIENTE</b>     | <b>SUBAMBIENTE</b><br>(Procesos morfogénéticos secundarios ) | <b>UNIDAD</b><br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección ) | <b>GÉNESIS</b>   | <b>ATRIBUTOS</b><br>(Características descriptivas morfométricas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|---------------------|--|--|--|--|
| <b>Antrópico</b>    | <b>Ao - Embalses o lagos artificiales</b>                    |  | Cuerpos de agua de origen antrópico  | NA, Lacustre a aluvio-lacustre, NA, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Erosión y sedimentación sobre orillas con remoción en masa localizada                     |
|                     | <b>Ar - Rellenos artificiales</b>                            |  | Colinas y cerros de origen antrópico   | Moderada a Suave, Escombro a variable, NA, Variable, NA, Remoción en masa / subsidencia  |
|                     | <b>Ax - Explotación minería superficial</b>                  |  | Depresiones generadas por minería a cielo abierto  | Fuerte, Variable, NA, Variable, NA, Remoción en masa / subsidencia   |
|                     | <b>Ae - Camaroneras o estanques</b>                          |  | Celdas de agua o estanques generados para el cultivo de camarones o peces                                | NA, Marinos a fluvio-marinas, NA, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Sedimentación   |
|                     | <b>Ad - Diques</b>   |  | Estructuras en cemento o en piedra   | NA, NA, NA, NA, NA, Sedimentación y Erosión  |
|                     | <b>Ac - Canal</b>  |  | Canales para el transporte de agua   | NA, Aluvio-lacustre, NA, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Sedimentación e Inundaciones   |
| <b>Denudacional</b> | <b>Da - Superficie de aplanamiento</b>                       | <b>Da1 - Superficies de aplanamiento recientes</b>               | Superficies de erosión relacionadas con antiguos niveles de base (niveles inferiores con baja disección) | Muy Baja a baja, saprolita, Dentrítico, Variable, Leve a nula, Erosión laminar   |

| AMBIENTE | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección ) | GÉNESIS  | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfológicas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|----------|---|---|--|--|
|          |   | <b>Da2 - Superficies de aplanamiento antiguas</b>         | Superficies de erosión relacionadas con antiguos niveles de base (niveles superiores con disección leve) | Muy Baja a baja, Saprolita, Dentrítico, Variable, Leve a moderada, Erosión laminar   |
|          | <b>Dc - Colina Residual</b>                         | <b>Dc1 - Colina coluvial baja</b>                         | Colinas con procesos de erosión y coluviación  | Muy Baja a Baja, Variable con coluviones, Dentrítico, Variable, Leve, Reptación  |
|          |   | <b>Dc2 - Colina coluvial media</b>                        | Colinas con procesos de erosión y coluviación  | Muy Baja a Baja, Variable con coluviones, Dentrítico, Variable, Leve a moderada, Reptación   |
|          |   | <b>Dc3 - Colina coluvial alta</b>                         | Colinas con procesos de erosión y coluviación  | Muy Baja a Baja, Variable con coluviones, Dentrítico, Variable, Leve a moderada, Reptación   |
|          | <b>De - Ladera denudacional</b>                     | <b>De1 - Ladera denudacional estable</b>                  | Laderas afectadas por erosión y coluviación  | Moderada a Fuerte, Variable con coluviones, Dentrítico a paralelo, Variable, Leve, Remoción en masa  |
|          |   | <b>De2 - Ladera denudacional activa</b>                   | Laderas afectadas por erosión y coluviación  | Moderada a Fuerte, Variable con coluviones, Dentrítico a paralelo, Variable, Moderada, Remoción en masa  |
|          |   | <b>De3 - Ladera denudacional muy activa</b>               | Laderas afectadas por erosión y coluviación  | Laderas afectadas por erosión y coluviación  |
|          | <b>Di - Superficie erial</b>                        |   | Zonas afectadas por erosión hídrica intensa con predominio de surcos y cárcavas                          | Variable, Variable, Dentrítico, suelos y sedimentos no consolidados, Leve a moderada, erosión hídrica con surcos y cárcavas                                      |
|          | <b>Ds - Escarpe denudacional</b>                    |   | Escarpes de morfología abrupta en proceso de retroceso. Compuesto por rocas competentes.                 | Fuerte a muy fuerte, Roca en situ, NA, Variable, NA, Derrumbes generalizados   |
|          | <b>Dg - Glacis</b>                                  | <b>Dg1 - Glacis acumulación</b>                           | Deposición gradual de los materiales arrastrados a lo largo de las laderas por acción de la esorrentía   | Muy Baja a Baja, Variable con coluviones, Dentrítico, Variable, Leve a moderada, Erosión laminar   |
|          |   | <b>Dg2 - Glacis erosión</b>                               | Deposición gradual de los materiales arrastrados a lo largo de las laderas por acción de la esorrentía   | Muy Baja a Baja, Variable con coluviones, Dentrítico, Variable, Leve a moderada, Erosión laminar   |
|          | <b>DI - Ladera coluvial</b>                         |   | Laderas afectadas por erosión y coluviación  | Moderada a Fuerte, Variable con coluviones, Dentrítico a paralelo, Variable, Moderada, Remoción en masa  |

| AMBIENTE | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección ) | GÉNESIS   | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfométricas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|----------|---|---|---|---|
| Fluvial  | Fi - Llanua de Inundación                           | Fi1 - Cubeta de Inundación                                | Zona aluvial casi plana, formada por migración y desborde fluvial reciente  | Baja a muy baja, Aluvial, Pantanoso, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Encharcamientos e Inundaciones  |
|          |   | Fi2 - Complejo de diques y paleocauces antiguos           | Sistemas de antiguos paleocauces que aún conservan diques pero que no se encuentran asociados a la dinámica aluvial del cauce activo o actual | Baja a muy baja, Aluvial, Pantanoso, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Encharcamientos e Inundaciones  |
|          | Fac - Valle coluvio aluvial                         |   | Acumulaciones aluvio-torrenciales, formadas por flujos de sedimentos heterométricos   | Moderada, Torrencial, Variable, Variable, Leve, Disección y avalanchas  |
|          | Fc - Cono aluviotorrencial                          | Fc1 - Cono aluviotorrencial reciente                      | Acumulaciones aluvio-torrenciales, formadas por flujos de escombros (avalanchas) de drenaje secundario.                                       | Moderada, Torrencial, Distributivo, Variable, Leve, Disección y avalanchas  |
|          |   | Fc2 - Cono aluviotorrencial subreciente                   | Acumulaciones aluvio-torrenciales, formadas por flujos de escombros (avalanchas) de drenaje secundario.                                       | Moderada, Torrencial, Distributivo, Variable, Variable, Disección y avalanchas  |
|          |   | Fc3 - Cono aluviotorrencial antiguo                       | Acumulaciones aluvio-torrenciales, formadas por flujos de escombros (avalanchas) de drenaje secundario.                                       | Moderada, Torrencial, Distributivo, Variable, Variable, Disección y avalanchas  |
|          |   | Fc4 - Cono aluviotorrencial muy antiguo                   | Acumulaciones aluvio-torrenciales, formadas por flujos de escombros (avalanchas) de drenaje secundario.                                       | Moderada, Torrencial, Distributivo, Variable, Variable, Disección y avalanchas  |
|          | Fa - Valle fluvio lacustre                          |   | Sedimentación y acumulación de materiales finos en ambientes lacustres  | Muy Baja a Baja, Aluvial medio a fino, Aluvial medio a fino, Variable, Variable, Leve, Encharcamientos e Inundaciones   |
|          | Fl - Valle lateral                                  | Fl1 - Valle lateral activo                                | Acumulaciones aluvio-lacustres  | Baja a muy baja, Aluvio-lacustre, Meándrico, Sedimentos finos (limos y arcillas), Leve, Disección leve y encharcamiento   |
|          |   | Fl2 - Valle lateral obturado                              | Acumulaciones aluvio-lacustres  | Baja a muy baja, Aluvio-lacustre, Meándrico, Sedimentos finos (limos y  |

| AMBIENTE | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección )  | GÉNESIS  | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfométricas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|----------|---|--|--|---|
|          |   |  |  | arcillas), Leve, Disección leve   |
|          | <b>Fo - Ciénaga o laguna fluvial</b>                | <b>Fo1 - Ciénaga o laguna permanente</b>                   | Cuerpos de agua asociados a los sistemas fluviales, generalmente poco profundo                   | NA, Lacustre a aluvio-lacustre, NA, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Inundación y sedimentación   |
|          |   | <b>Fo2 - zonas cenagosas con Inundaciones estacionales</b> | Zonas pantanosas que se inundan, con niveles altos de los sistemas fluviales                     | NA, Lacustre a aluvio-lacustre, NA, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Inundación y sedimentación   |
|          | <b>Fp - Abanico aluvial</b>                         | <b>Fp1 - Abanico aluvial reciente</b>                      | Acumulaciones aluviales, formadas por aportes de los ríos principales del piedemonte.            | Moderada a Baja, Aluvial medio a fino, Distributivo, Variable, Leve, Disección y/o Inundaciones   |
|          |   | <b>Fp2 - Abanico aluvial subreciente</b>                   | Acumulaciones aluviales, formadas por aportes de los ríos principales del piedemonte.            | Moderada a Baja, Aluvial medio a fino, Distributivo, Variable, Moderada, Disección  |
|          |   | <b>Fp3 - Abanico aluvial antiguo</b>                       | Acumulaciones aluviales disectados, formadas por aportes de los ríos principales del piedemonte. | Moderada a Baja, Aluvial medio a fino, Distributivo, Variable, Moderada, Erosión variable   |
|          | <b>Fr - Cauce</b>                                   | <b>Fr1 - Cauce principal</b>                               | Cuerpos de agua asociados a los sistemas fluviales activos                                       | NA, Lacustre a aluvio-lacustre, NA, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Inundación y sedimentación   |
|          |   | <b>Fr2 - Cauce antiguo o paleocauce</b>                    | Cuerpos de agua asociados a los sistemas fluviales antiguos                                      | NA, Lacustre a aluvio-lacustre, NA, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Inundación y sedimentación   |
|          | <b>Ft - Terraza aluvial</b>                         | <b>Ft1 - Terraza aluvial reciente</b>                      | Niveles aluviales escalonados y disectados relacionados con antiguas llanuras aluviales.         | Moderada a Baja, Aluvial medio a fino, Variable, Variable, Leve, Erosión variable   |
|          |   | <b>Ft2 - Terraza aluvial subreciente</b>                   | Niveles aluviales escalonados y disectados relacionados con antiguas llanuras aluviales.         | Moderada a Baja, Aluvial medio a fino, Variable, Variable, Leve, Erosión variable   |
|          |   | <b>Ft3 - Terraza aluvial antigua</b>                       | Niveles aluviales escalonados y disectados relacionados con antiguas llanuras aluviales.         | Moderada a Baja, Aluvial medio a fino, Variable, Variable, Moderada, Erosión variable   |
|          |   | <b>Ft4 - Terraza</b>                                       | Niveles aluviales  | Moderada a Baja, Aluvial medio  |

| AMBIENTE       | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección ) | GÉNESIS   | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfométricas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|----------------|---|---|---|---|
|                |   | <b>aluvial muy antigua</b>                                | escalonados y disectados relacionados con antiguas llanuras aluviales.                          | a fino, Variable, Variable, Moderada, Erosión variable  |
|                | <b>Fv - Vega de divagación</b>                      | <b>Fv1 -Vega de divagación activa</b>                     | Zona de divagación activa de los ríos   | Baja a muy baja, Aluvial, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Migración lateral e Inundaciones   |
|                |   | <b>Fv2 -Vega de divagación inactiva</b>                   | Zonas de divagación desconectadas parciamente de los sistemas aluviales activos actuales        | Baja a muy baja, Aluvial, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Inundaciones   |
|                |   | <b>Fv3-Vega de divagación antigua</b>                     | <b>Zonas de divagación desconectadas de los sistemas aluviales activos actuales y</b>           | Baja a muy baja, Aluvial, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Encharcamiento e Inundaciones  |
|                | <b>Fs - Escarpe (abanico, cono, terraza, otros)</b> |   | Escarpes de morfología abrupta en los bordes de los depósitos fluviales como terrazas.          | Fuerte a muy fuerte, Roca in situ a coluvial. Materiales heterométricos, NA, Variable, NA, Derrumbes generalizados  |
| <b>Glacial</b> | <b>Gc - Circo glacial</b>                           |   | Depresiones erosionales con escarpes fuertes a moderados resultado de gelifracción y abrasión   | Baja a Fuerte, Variable, Variable, NA, Derrubios a sedimentación lacustre   |
|                | <b>Gf - Cono fluvioglacial</b>                      |   | Depósitos de ablación, pobremente seleccionados, subredondeados                                 | Baja, Fluvio-glacial, Distributivo, Variable, Variable, Disección   |
|                | <b>Gl - Laderas glaciadas</b>                       |   | Laderas planas adyacentes a las morrenas terminales formadas por sedimentos finos a gravillosos | Baja, Fluvio-glacial, Distributivo, Variable, Variable, Disección   |
|                | <b>Gm - Morrena</b>                                 |   | Lomas alargadas convexas de bloques y detritos heterométricos, no estratificados                | Moderada a Baja, Material morrenico, Variable, Variable, Variable, Remoción en masa   |
|                | <b>Go - Laguna glacial</b>                          |   | Cuerpos de agua de origen glacial   | NA, Lacustres, NA, Variable, NA, Inundación y sedimentación   |
|                | <b>Gp - Planicie glacial</b>                        |   | Laderas planas adyacentes a las morrenas terminales formadas por sedimentos finos a             | Baja, Fluvio-glacial, Distributivo, Variable, Variable, Disección   |

| AMBIENTE           | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección ) | GÉNESIS  | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfométricas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|--------------------|---|---|--|---|
|                    |   |   | gravillosos  |   |
|                    | <b>Gv - Valle glacial</b>                           |   | Valles en U formadas por la ablación glaciár. Presenta sedimentos finos a gravillosos                | Moderada a Baja, Fluvio-glacial, Variable, Variable, Variable, Disección  |
| <b>Cárstico</b>    | <b>Kr - Cárstico residual</b>                       |   | Colinas y cerros de origen cárstico  | Fuerte, NA, Interna, Calcárea, Solución y colapso, Erosión laminar  |
|                    | <b>Ks - Superficie cárstica con dolinas</b>         |   | Superficies afectadas por procesos de disolución   | Irregular, NA, Interna, Calcárea, Solución y colapso, Solución y colapso.   |
|                    | <b>Kv - Valles cársticos</b>                        |   | Valles generados por procesos de disolución  | Plano a inclinado, Variable, Variable, Coluvio-aluviales, Variable, Variable  |
| <b>Estructural</b> | <b>Sc - Cresta</b>                                  | <b>Sc1 - Ladera Estructural</b>                           | Laderas asimétricas compuestas por rocas sedimentarias competentes / no competentes plegadas         | Moderada a Fuerte, Roca en situ a coluvial, Enrejado, Areniscas y conglomerados, NA, Movimientos planares y derrumbes   |
|                    |   | <b>Sc2 - Escarpe estructural</b>                          | Laderas asimétricas compuestas por rocas sedimentarias competentes / no competentes plegadas         | Fuerte a muy Fuerte, Roca en situ a coluvial, Enrejado, Areniscas y conglomerados, NA, Movimientos planares y derrumbes   |
|                    | <b>Ss - Escarpes Tectónicos</b>                     | <b>Ss1 - Escarpes activos</b>                             | Escarpes asociados con movimientos corticales  | Fuerte a muy Fuerte, Roca en situ a coluvial, Materiales heterométricos, Enrejado, Areniscas y conglomerados, NA, Derrumbes                                       |
|                    |   | <b>Ss2 - Escarpes poco activos</b>                        | Escarpes asociados con movimientos corticales  | Fuerte a muy Fuerte, Roca en situ a coluvial. Materiales heterométricos, Enrejado, Areniscas y conglomerados, NA, Derrumbes                                       |
|                    |   | <b>Ss3 - Escarpes Inactivos</b>                           | Escarpes asociados con movimientos corticales  | Fuerte a muy Fuerte, Roca en situ a coluvial. Materiales heterométricos, Enrejado, Areniscas y conglomerados, NA, Derrumbes                                       |
|                    | <b>Sd - Domo</b>                                    |   | Anticlinal abombado en rocas sedimentarias competentes   | Leve a Moderada, Variable, Variable, Areniscas y conglomerados, Superficial, Erosión laminar  |
|                    | <b>Se - Escarpe estructural</b>                     |   | Escarpes de morfología abrupta, derivados de las fuerzas de plegamiento y la resistencia que ofrecen | Fuerte a muy fuerte, Roca en situ, NA, Variable, NA, Derrumbes  |

| AMBIENTE | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección ) | GÉNESIS   | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfológicas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|----------|---|---|---|--|
|          |   |   | las rocas competentes a los agentes modeladores del relieve   |  |
|          | Sf - Faceta   | Sf1 - Faceta con disección incipiente                     | Laderas estabilizadas durante un periodo de tiempo con pendientes estabilizadas, generalmente forman pedimentos | Leve a Moderada, Variable, Paralelo, Areniscas y conglomerados, superficial, erosión laminar, movimientos planares y derrumbes                                   |
|          |   | Sf2 - Faceta con disección moderada                       | Laderas estabilizadas levemente disectada   | Leve a Moderada, Variable, Paralelo, Areniscas y conglomerados, superficial, erosión laminar, movimientos planares y derrumbes                                   |
|          | SI - Lomerío  | SI1 - Lomerío con disección leve                          | Laderas asimétricas en rocas ígneas de disección variable   | Leve a Moderada, Roca en situ a coluvial, Enrejado, Rocas sedimentarias variable, Leve, Erosión laminar  |
|          |   | SI2 - Lomerío con disección moderada                      | Laderas simétricas en rocas sedimentarias disectadas con pendientes largas                                      | Moderada, Roca en situ a coluvial, Enrejado, Rocas sedimentaria variable, Leve a moderada, Erosión laminar, Formación de depósitos inestables                    |
|          |   | SI3 - Lomerío disectado                                   | Laderas simétricas en rocas sedimentarias disectadas con pendientes cortas                                      | Moderada, Roca en situ a coluvial, Enrejado, Rocas sedimentaria variable, Moderada a fuerte, Erosión laminar, Formación de depósitos inestables                  |
|          | Si1 - Cuchilla ígnea                                | Si1 - Cuchilla ígnea con disección leve                   | Laderas asimétricas en rocas ígneas de disección variable   | Moderada a Fuerte, saprolita a coluvial, Variable, Roca ígnea, Leve, Remoción en masa  |
|          |   | Si2 - Cuchilla ígnea con disección moderada               | Laderas asimétricas en rocas ígneas de disección variable   | Moderada a Fuerte, saprolita a coluvial, Variable, , Leve a moderada, Remoción en masa   |
|          |   | Si3 - Cuchilla ígnea disectada                            | Laderas asimétricas en rocas ígneas de disección variable   | Moderada a Fuerte, saprolita a coluvial, Variable, , Moderada a fuerte, Remoción en masa   |
|          | Sm - Cuchilla metamórfica                           | Sm1 - Cuchilla metamórfica con disección leve             | Laderas asimétricas en rocas metamórficas de disección variable   | Moderada a Fuerte, saprolita a coluvial, Variable, Roca metamórfica, Leve, Remoción en masa  |
|          |   | Sm2 - Cuchilla metamórfica con disección                  | Laderas asimétricas en rocas metamórficas de disección variable   | Moderada a Fuerte, saprolita a coluvial, Variable, Roca metamórfica, Leve a moderada,  |

| AMBIENTE         | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección ) | GÉNESIS  | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfométricas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|------------------|---|---|--|---|
|                  |   | <b>moderada</b>   |  | Remoción en masa  |
|                  |   | <b>Sm3 - Cuchilla metamórfica disectada</b>               | Laderas asimétricas en rocas metamórficas de disección variable  | Moderada a Fuerte, saprolita a coluvial, Variable, Roca metamórfica, Moderada a fuerte, Remoción en masa  |
|                  | <b>Sn - Monte Isla</b>                              | <b>Sn - Monte Isla (DN)</b>                               | Cerros rocosos aislados de composición ígneo-metamórfica (Inselbergs)  | Fuerte, NA, NA, Roca ígneo-metamórfica dura, NA, Meteorización superficial  |
|                  | <b>Su - Cuesta</b>                                  | <b>Su1 - Cuesta con disección leve</b>                    | Ladera estructural con buzamiento que varían entre 1 y 10 grados aproximadamente, asociados a la degradación parcial de estratos sedimentarios suavemente plegados | Leve a Moderada, Variable, Variable, Areniscas y conglomerados, Leve a moderada, Erosión laminar, Movimientos planares y derrumbes                                |
|                  |   | <b>Su2 - Cuesta disectada</b>                             | Ladera estructural con buzamiento que varían entre 1 y 10 grados aproximadamente, asociados a la degradación parcial de estratos sedimentarios suavemente plegados | Moderada a Fuerte, Variable, Variable, Areniscas y conglomerados, Superficial, Erosión laminar, Movimientos planares y derrumbes                                  |
|                  | <b>Sp - Espinazo</b>                                |   | Ladera con buzamientos fuertes   | Moderada a Fuerte, Roca en situ a coluvial, Variable, Areniscas y conglomerados, NA, Movimientos planares y derrumbes   |
|                  | <b>Sb - Barra</b>                                   |   | Ladera con buzamientos fuertes a verticales  | Fuerte a muy Fuerte, Roca en situ a coluvial, Variable, Areniscas y conglomerados, NA, Movimientos planares y derrumbes   |
|                  | <b>St - Meseta</b>                                  |   | Mesas estructurales compuestas por rocas sedimentarias competentes con buzamiento horizontal/subhorizontal   | Leve, Variable, Variable, Areniscas y conglomerados, Superficial, Erosión laminar   |
| <b>Volcánico</b> | <b>Vf - Flujo fluviovolcánico (Lahar)</b>           | <b>Vf1 - Flujo fluviovolcánico (Lahar) reciente</b>       | Avalanchas fluvio-volcánicas compuestas por lodo volcánico, resultado de transporte fluvial de material volcánico  | Moderada a Baja, Fluvio-volcánico, Distributivo, Variable, Variable, Erosión laminar  |
|                  |   | <b>Vf2 - Flujo</b>  | Avalanchas fluvio-   | Moderada a Baja, Fluvio-  |

| AMBIENTE | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección ) | GÉNESIS   | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfométricas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |   |
|----------|---|---|---|---|---|
|          |   | <b>fluviovolcánico (Lahar) antiguo</b>                    | volcánicas compuestos por lodo volcánico, resultado de transporte fluvial de material volcánico                   | volcánico, Distributivo, Variable, Variable, Erosión laminar  |   |
|          |   | <b>Vf3 - Flujo fluviovolcánico (Lahar) muy antiguo</b>    | Avalanchas fluvio-volcánicas compuestos por lodo volcánico, resultado de transporte fluvial de material volcánico | Moderada a Baja, Fluvio-volcánico, Distributivo, Variable, Variable, Erosión laminar  |   |
|          | <b>Vc - Cráter volcánico</b>                        | <b>Vc1 - Cráter volcánico activo</b>                      | Depresiones de origen volcánico explosivo   | Fuerte, Piroclastos y lavas, Centripita,, Piroclastos y lavas, Leve a moderada, Erosión laminar   |   |
|          |   | <b>Vc2 - Cráter volcánico inactivo</b>                    | Depresiones de origen volcánico explosivo   | Moderada a Baja, Piroclastos y lavas, Centripita, Piroclastos y lavas, Disección variable, Erosión variable   |   |
|          | <b>Vv - Edificio Volcánico (cono)</b>               | <b>Vv1 - Edificio Volcánico reciente (cono)</b>           | Estructuras cónicas, resultado de erupciones efusivas (lavas) y explosivas (piroclastos)                          | Fuerte, Piroclastos y lavas, Radial, Piroclastos y lavas, Disección variable, Erosión laminar   |   |
|          |   | <b>Vv2 - Edificio Volcánico subreciente (cono)</b>        | Estructuras cónicas, resultado de erupciones efusivas (lavas) y explosivas (piroclastos)                          | Fuerte, Piroclastos y lavas, Radial, Piroclastos y lavas, Disección variable, Erosión laminar   |   |
|          |   | <b>Vv3 - Edificio Volcánico antiguo (cono)</b>            | Estructuras cónicas, resultado de erupciones efusivas (lavas) y explosivas (piroclastos)                          | Fuerte, Piroclastos y lavas, Radial, Piroclastos y lavas, Disección variable, Erosión laminar   |   |
|          | <b>Ve - Escarpe de colada de lava</b>               |   | Flujos lávicos, resultado de erupciones efusivas  | Moderada, Lavas variables, Bloqueado, Lavas variables, variable, Erosión variable   |   |
|          | <b>VI - Colada de lava (flujo)</b>                  |   | Flujos lávicos, resultado de erupciones efusivas  | Moderada, Lavas variables, Bloqueado, Lavas variables, Disección variable, Erosión variable   |   |
|          | <b>Vp - Flujo piroclástico (tobas)</b>              |   | Flujos de piroclastos, avalanchas volcánicas, resultado de erupciones explosivas                                  | Moderada, Piroclastos y tobas, distributivo a variable, , Variable, Disección variable, Erosión en surcos y cárcavas  |   |
|          | <b>Marino litoral</b>                               | <b>Mp - Playa</b>   | <b>Mp1 - Playas litorales actuales</b>  | Acumulaciones litorales arenosas a gravillosas relacionadas con el oleaje   | Leve, Arenas a gravas, Variable, NA, Nulo a leve, Sedimentación a erosión |
|          |   |   | <b>Mp2 - Playas litorales</b>   | Acumulaciones litorales arenosa a gravillosa  | Leve, Arenas a gravas, Variable, NA, Nulo a leve, Sedimentación           |

| AMBIENTE | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección )        | GÉNESIS   | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfométricas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|----------|---|--|---|---|
|          |   | <b>subrecientes</b>  | relacionadas con niveles marinos más altos en el holoceno   | a erosión   |
|          |   | <b>Mp3 - Playas antiguas</b>                                     | Acumulaciones litorales arenosa a gravilosa relacionadas con niveles marinos más altos en el holoceno   | Leve, Arenas a gravas, Variable, NA, Nulo a leve, Sedimentación a erosión   |
|          | <b>Mt - Terraza marina</b>                          | <b>Mt1 - Terraza marina recientes</b>                            | Niveles semiplanos de abrasión y acumulación marina a fluvio-marina   | Leve, Arenas a gravas, Paralelo, Variable, Leve a moderada, Disección a variable  |
|          |   | <b>Mt2 - Terraza marina subrecientes</b>                         |   | , , Paralelo, Variable, Leve a moderada, Disección a variable   |
|          |   | <b>Mt3 - Terraza marina antiguos</b>                             |   | , , Paralelo, Variable, Leve a moderada, Disección a variable   |
|          | <b>Ma - Acantilado</b>                              |  | Escarpes litorales en rocas de litología variada  | Muy fuerte,, NA, NA, Variable, Variable, Remoción en masa   |
|          | <b>Mc - Arrecife coralino</b>                       |  | Formaciones orgánicas calcáreas de profundidad variable con predominio de coral   | Irregular, Calcárea, variable, NA, Variable, Variable, erosión y formación calcárea   |
|          | <b>Md - Deltas marinos en régimen micromarinal</b>  | <b>Md 1- Deltas marinos actuales en régimen micromarinal</b>     | Acumulaciones de origen fluvio-marino con componentes de playa, marismas y albardones.  | Leve, Areno-limosos, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas) a gravillosos, Nula, Erosión y sedimentación   |
|          |   | <b>Md 2- Deltas marinos subrecientes en régimen micromarinal</b> | Acumulaciones de origen fluvio-marino con componentes de playa, marismas y albardones. Se encuentran asociados a niveles más altos del mar en el holoceno | Leve, Areno-limosos, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas) a gravillosos, Nula, Erosión y sedimentación   |
|          |   | <b>Md 3- Deltas marinos antiguos en régimen micromarinal</b>     | Acumulaciones de origen fluvio-marino con componentes de playa, marismas y albardones. Se encuentran asociados a niveles más altos del mar                | Leve, Areno-limosos, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas) a gravillosos, Nula, Erosión y sedimentación   |
|          | <b>Mx - Deltas marinos en régimen macromarinal</b>  | <b>Mx 1- Deltas marinos actuales en régimen</b>                  | Acumulaciones de origen fluvio-marino con componentes de playa, marismas y albardones.  | Leve, Areno-limosos, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas) a gravillosos, Nula, Erosión y sedimentación   |

| AMBIENTE | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección )       | GÉNESIS   | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfométricas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|----------|---|---|---|---|
|          |   | <b>micromarial</b>  |   |   |
|          |   | <b>Mx 2- Deltas marinos subrecientes en régimen micromarial</b> | Acumulaciones de origen fluvio-marino con componentes de playa, marismas y albardones. Se encuentran asociados a niveles más altos del mar en el holoceno         | Leve, Arena-limosos, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas) a gravillosos, Nula, Erosión y sedimentación   |
|          |   | <b>Mx 3- Deltas marinos antiguos en régimen micromarial</b>     | Acumulaciones de origen fluvio-marino con componentes de playa, marismas y albardones. Se encuentran asociados a niveles más altos del mar                        | Leve, Arena-limosos, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas) a gravillosos, Nula, Erosión y sedimentación   |
|          | <b>Mm - Marisma litoral de régimen micromarial</b>  | <b>Mm1 - Marisma litoral actual de régimen micromarial</b>      | Humedales costeros en régimen de oleaje micromarial, con predominio de vegetación de mangle. Se encuentran asociados al actual nivel del mar                      | Leve, Arena-limosos, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Inundación y sedimentación  |
|          |   | <b>Mm2 - Marisma litoral subreciente de régimen micromarial</b> | Humedales costeros en régimen de oleaje micromarial, con predominio de vegetación de mangle. Se encuentran asociados antiguos niveles del mar durante el holoceno | Leve, Arena-limosos, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Inundación y sedimentación  |
|          | <b>Mz - Marisma litoral de régimen macromarial</b>  | <b>Mz1 - Marisma litoral actual de régimen macromarial</b>      | Humedales costeros en régimen de oleaje macromarial, con predominio de vegetación de mangle. Se encuentran asociados al actual nivel del mar                      | Leve, Arena-limosos, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Inundación y sedimentación  |
|          |   | <b>Mz2 - Marisma litoral subreciente de régimen macromarial</b> | Humedales costeros en régimen de oleaje macromarial, con predominio de vegetación de mangle. Se encuentran asociados antiguos niveles del mar durante el holoceno | Leve, Arena-limosos, Variable, Sedimentos finos (limos y arcillas), Nula, Inundación y sedimentación  |
|          | <b>Mo - Ciénaga litoral</b>                         |   | Humedales costeros en régimen de oleaje micromarial, con predominio de  | NA, Arena-limosos, NA, NA, NA, Inundación y sedimentación   |

| AMBIENTE     | SUBAMBIENTE<br>(Procesos morfogénicos secundarios ) | UNIDAD<br>(Edad relativa por morfo-dinámica o disección ) | GÉNESIS   | ATRIBUTOS<br>(Características descriptivas morfométricas y dinámicas (Pendiente, Depósitos superficiales, Litología, Pat. Drenaje, Disección, Procesos actuales)) |
|--------------|---|---|---|---|
|              |   |   | vegetación de mangle. Se encuentran asociados al actual nivel del mar |   |
| Eólico 1 A 3 | Ed - Campos de Dunas                                |   | Acumulaciones eólicas en forma de dunas, arenosos, pendiente ondulada | Moderada a suave, , Arenoso fino a medio, NA, NA, NA, Transporte eólico   |
|              | Em - Mantos eólicos                                 |   | Acumulaciones eólicas planares, limosos, pendiente plana,             | Suave, Loess, NA, NA, Variable, Disección   |
|              | Ee - Llanura de deflación                           |   | Superficies afectadas por erosión eólica                              | Variable, Variable, NA, NA, Erosión superficial, Deflación  |

## 5.2 Codificación

El cuadro 5.2 con el sistema que codifica los diferentes rasgos geomorfológicos en base a la jerarquía y taxonomía geomorfológica propuesta en este documento.

Cuadro 5.2 Sistema y estructura de codificación de rasgos geomorfológicos

| AMBIENTE         | UNIDAD                                | SIMBOLO | CÓDIGO | COMPONENTE |
|------------------|---------------------------------------|---------|--------|------------|
| Antrópico - A    | Canal                                 | Ac      | 9100   |            |
|                  | Diques                                | Ad      | 9200   |            |
|                  | Camaroneras o estanques               | Ae      | 9300   |            |
|                  | Embalses o lagos artificiales         | Ao      | 9400   |            |
|                  | Rellenos artificiales                 | Ar      | 9500   |            |
|                  | Explotación minería superficial       | Ax      | 9600   |            |
| Denudacional - D | Superficies de aplanamiento recientes | Da1     | 3100   |            |
|                  | Superficies de aplanamiento antiguas  | Da2     | 3150   |            |
|                  | Colina coluvial baja                  | Dc1     | 3200   |            |

| AMBIENTE          | UNIDAD  | SIMBOLO | CÓDIGO | COMPONENTE |
|-------------------|---|---------|--------|------------|
|                   | Colina coluvial media                         | Dc2     | 3220   |            |
|                   | Colina coluvial alta                          | Dc3     | 3240   |            |
|                   | Ladera denudacional estable                   | De1     | 3300   |            |
|                   | Ladera denudacional activa                    | De2     | 3320   |            |
|                   | Ladera denudacional muy activa                | De3     | 3340   |            |
|                   | Glacis acumulación                            | Dg1     | 3400   |            |
|                   | Glacis erosión                                | Dg2     | 3450   |            |
|                   | Superficie erial                              | Di      | 3500   |            |
|                   | Ladera coluvial                               | DI      | 3600   |            |
|                   | Escarpe denudacional                          | Ds      | 3700   |            |
| <b>Fluvial- F</b> | Valle fluvio lacustre                         | Fa      | 5100   |            |
|                   | Valle coluvio aluvial                         | Fac     | 5570   |            |
|                   | Cono aluviotorrencial reciente                | Fc1     | 5300   |            |
|                   | Cono aluviotorrencial subreciente             | Fc2     | 5320   |            |
|                   | Cono aluviotorrencial antiguo                 | Fc3     | 5340   |            |
|                   | Cono aluviotorrencial muy antiguo             | Fc4     | 5360   |            |
|                   | Cubeta de Inundación                          | Fi1     | 5400   |            |
|                   | Complejo de diques y paleocauces antiguos     | Fi2     | 5420   |            |
|                   | Valle lateral activo                          | Fl1     | 5500   |            |
|                   | Valle lateral obturado                        | Fl2     | 5550   |            |
|                   | Ciénaga o laguna permanente                   | Fo1     | 5600   |            |
|                   | Zonas cenagosas con inundaciones estacionales | Fo2     | 5650   |            |
|                   | Abanico aluvial reciente                      | Fp1     | 5700   |            |
|                   | Abanico aluvial subreciente                   | Fp2     | 5720   |            |

| AMBIENTE               | UNIDAD                                  | SIMBOLO | CÓDIGO | COMPONENTE |
|------------------------|---|---------|--------|------------|
|                        | Abanico aluvial antiguo                 | Fp3     | 5740   |            |
|                        | Cauce principal                         | Fr1     | 5460   |            |
|                        | Cauce antiguo o paleocauce              | Fr2     | 5480   |            |
|                        | Escarpe (abanico, cono, terraza, otros) | Fs      | 5200   |            |
|                        | Terraza aluvial reciente                | Ft1     | 5800   |            |
|                        | Terraza aluvial subreciente             | Ft2     | 5820   |            |
|                        | Terraza aluvial antigua                 | Ft3     | 5840   |            |
|                        | Terraza aluvial muy antigua             | Ft4     | 5860   |            |
|                        | Vega de divagación activa               | Fv1     | 5900   |            |
|                        | Vega de divagación inactiva             | Fv2     | 5920   |            |
|                        | Vega de divagación antigua              | Fv3     | 5940   |            |
| <b>Glacial - G</b>     | Circo glacial                           | Gc      | 4100   |            |
|                        | Cono fluvioglacial                      | Gf      | 4200   |            |
|                        | Laderas glaciadas                       | Gl      | 4300   |            |
|                        | Morrena                                 | Gm      | 4320   |            |
|                        | Laguna glacial                          | Go      | 4400   |            |
|                        | Planicie glacial                        | Gp      | 4500   |            |
|                        | Valle glacial                           | Gv      | 4600   |            |
| <b>Cárstico - K</b>    | Cárstico residual                       | Kr      | 7300   |            |
|                        | Superficie cárstica con dolinas         | Ks      | 7100   |            |
|                        | Valles cársticos                        | Kv      | 7200   |            |
| <b>Estructural - S</b> | Domo                                    | Sd      | 1100   |            |
|                        | Barra                                   | Sb      | 1200   |            |
|                        | Ladera Estructural                      | Sc1     | 1300   |            |

| AMBIENTE                   | UNIDAD                                      | SIMBOLO | CÓDIGO | COMPONENTE |
|----------------------------|---|---------|--------|------------|
|                            | Escarpe estructural                         | Sc2     | 1350   |            |
|                            | Escarpe estructural                         | Se      | 1400   |            |
|                            | Faceta con disección incipiente             | Sf1     | 1500   |            |
|                            | Faceta con disección moderada               | Sf2     | 1550   |            |
|                            | Cuchilla ígnea con disección leve           | Si1     | 1600   |            |
|                            | Cuchilla ígnea con disección moderada       | Si2     | 1610   |            |
|                            | Cuchilla ígnea disectada                    | Si3     | 1620   |            |
|                            | Lomerío con disección leve                  | Sl1     | 1630   |            |
|                            | Lomerío con disección moderada              | Sl2     | 1640   |            |
|                            | Lomerío disectado                           | Sl3     | 1650   |            |
|                            | Cuchilla metamórfica con disección leve     | Sm1     | 1660   |            |
|                            | Cuchilla metamórfica con disección moderada | Sm2     | 1670   |            |
|                            | Cuchilla metamórfica disectada              | Sm3     | 1680   |            |
|                            | Monte Isla (DN)                             | Sn      | 1700   |            |
|                            | Espinazo                                    | Sp      | 1920   |            |
|                            | Escarpes activos                            | Ss1     | 1800   |            |
|                            | Escarpes poco activos                       | Ss2     | 1820   |            |
|                            | Escarpes Inactivos                          | Ss3     | 1840   |            |
|                            | Meseta                                      | St      | 1900   |            |
|                            | Cuesta con disección leve                   | Su1     | 1920   |            |
| Cuesta disectada           | Su2   | 1940    |        |            |
| <b>Volcánico 1 A 5 - V</b> | Cráter volcánico activo                     | Vc1     | 2100   |            |
|                            | Cráter volcánico inactivo                   | Vc2     | 2200   |            |
|                            | Escarpe de colada de lava                   | Ve      | 2300   |            |

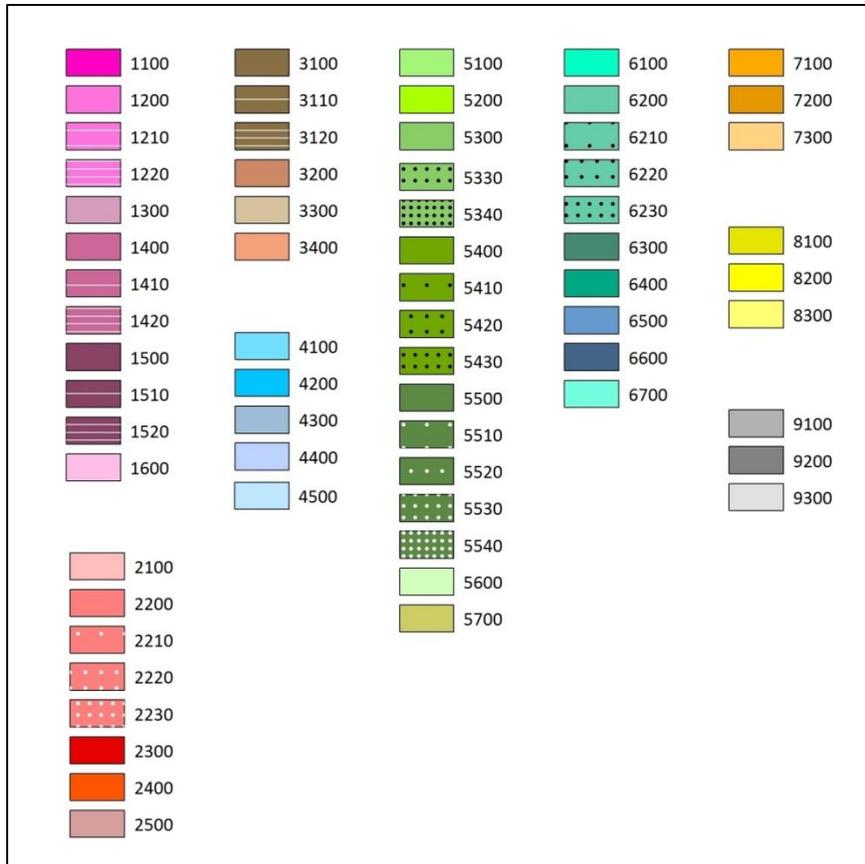
| AMBIENTE                  | UNIDAD  | SIMBOLO | CÓDIGO | COMPONENTE |
|---------------------------|---|---------|--------|------------|
|                           | Flujo fluviovolcánico (Lahar) reciente              | Vf1     | 2400   |            |
|                           | Flujo fluviovolcánico (Lahar) antiguo               | Vf2     | 2420   |            |
|                           | Flujo fluviovolcánico (Lahar) muy antiguo           | Vf3     | 2440   |            |
|                           | Colada de lava (flujo)                              | Vl      | 2500   |            |
|                           | Flujo piroclástico (tobas)                          | Vp      | 2600   |            |
|                           | Edificio Volcánico reciente (cono)                  | Vv1     | 2700   |            |
|                           | Edificio Volcánico subreciente (cono)               | Vv2     | 2720   |            |
|                           | Edificio Volcánico antiguo (cono)                   | Vv3     | 2740   |            |
| <b>Marino litoral - M</b> | Acantilado  | Ma      | 6100   |            |
|                           | Arrecife coralino                                   | Mc      | 6200   |            |
|                           | Deltas marinos actuales en régimen micromarinal     | Md1     | 6300   |            |
|                           | Deltas marinos subrecientes en régimen micromarinal | Md2     | 6320   |            |
|                           | Deltas marinos antiguos en régimen micromarinal     | Md3     | 6340   |            |
|                           | Marisma litoral actual de régimen micromarinal      | Mm1     | 6400   |            |
|                           | Marisma litoral subreciente de régimen micromarinal | Mm2     | 6420   |            |
|                           | Ciénaga litoral                                     | Mo      | 6500   |            |
|                           | Playas litorales actuales                           | Mp1     | 6500   |            |
|                           | Playas litorales subrecientes                       | Mp2     | 6520   |            |
|                           | Playas antiguas                                     | Mp3     | 6540   |            |
|                           | Terraza marina recientes                            | Mt1     | 6600   |            |
|                           | Terraza marina subrecientes                         | Mt2     | 6620   |            |
|                           | Terraza marina antiguos                             | Mt3     | 6640   |            |

| AMBIENTE                | UNIDAD  | SÍMBOLO | CÓDIGO | COMPONENTE |
|-------------------------|---|---------|--------|------------|
|                         | Deltas marinos actuales en régimen micromarinal     | Mx1     | 6360   |            |
|                         | Deltas marinos subrecientes en régimen micromarinal | Mx2     | 6380   |            |
|                         | Deltas marinos antiguos en régimen micromarinal     | Mx3     | 6390   |            |
|                         | Marisma litoral actual de régimen macromarinal      | Mz1     | 6440   |            |
|                         | Marisma litoral subreciente de régimen macromarinal | Mz2     | 6460   |            |
| <b>Eólico 1 A 3 - E</b> | Campos de Dunas                                     | Ed      | 8100   |            |
|                         | Mantos eólicos                                      | Em      | 8200   |            |
|                         | Llanura de deflación                                | Ee      | 8300   |            |

### 5.3 Símbolos

La leyenda que se presenta a continuación, representa un grupo de rasgos geomorfológicos a nivel de áreas, la definición de variables visuales se aproxima a las propuestas realizadas anteriormente. Los símbolos representan los diferentes niveles jerárquicos de las unidades geomorfológicas basándose la primera letra en los ambientes morfogenéticos: Estructural S; Volcánico V; Denudativo D; Glacial G; Fluvial F; Marino M; Kárstico K; Eólico E; y Antrópico A. Los siguientes caracteres se referirán en cada caso a las denominaciones geomorfológicas.

Para los procesos y elementos morfológicos menores de 0,25 cm<sup>2</sup>, se desarrollaran en una etapa futura una tabla de los símbolos específicos, en principio basados en la simbología convencional del ITC (Verstappen y Van Zuidam, 1992) o concertada entre el Ideam-SGC-IGAC) para niveles de implantación areal, lineal y puntual.



## 6. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad en la zonificación geomorfológica hace referencia al proceso de revisión y corrección continuo y sistemático de seguimiento del avance de las diferentes actividades del proceso de construcción de la zonificación con el propósito de garantizar la calidad geométrica, temática y topológica de la base de datos.

### 6.1. COMENTARIOS GENERALES SOBRE LA CALIDAD EN LA INTERPRETACIÓN GEOMORFOLÓGICA

A continuación se hacen algunos comentarios pertinentes sobre el control de calidad de las planchas geomorfológicas a escala 1:100.000 y su aplicación a diferentes aplicaciones:

Los mapas temáticos geomorfológicos a escala 1:100.000 deben tomarse como de reconocimiento general. Las escalas adecuadas para la toma de decisiones corresponde a escalas detalladas 1:25.000 y 1:10.000. En este sentido los mapas escala 1:100.000 deben tomarse como mapas de reconocimiento, útiles en la determinación de zonas prioritarias para elaborar análisis detallados.

Los procesos ambientales relevantes identificados con la cartografía geomorfológica 1:100.000 no pueden ser utilizadas para el análisis de sitios muy particulares, estudios de detalle deben recomendarse en esos casos.

El grado de precisión del mapa geomorfológico es inherente a la escala del mapa y el nivel de caracterización de las unidades interpretadas. Algunos factores que influyen en la calidad del levantamiento geomorfológico corresponden a:

- Nivel de conocimiento del área analizada. Zonas que presentan fácil acceso o contienen gran cantidad de información secundaria pueden facilitar el análisis geomorfológico.
- Facilidad de desplazamiento. Existen zonas del país que presentan buena densidad de vías transitables, situación que facilita el desplazamiento para la validación y caracterización de unidades geomorfológicas en campo. Por el contrario hay zonas desprovistas de infraestructura, en las cuales el trabajo de campo se hace más demorado y dispendioso.
- En zonas con problemas de orden público es posible que no se pueda realizar el correcto levantamiento de la información geomorfológica en campo.
- El tiempo dedicado a levantamiento geomorfológico en campo
- La información disponible para la interpretación geomorfológica y la caracterización de las unidades
- La complejidad de la zona analizada
- La experticia de los investigadores que realizaran el levantamiento geomorfológico.

Algunos aspectos que se deben tener en cuenta para tener un producto de calidad en el tiempo establecido en determinado proyecto corresponde con:



- Que los insumos bajo los cuales se va a realizar el mapa geomorfológico estén disponibles, al alcance del intérprete y la entidad que los adquiere, estar dentro de la fecha o periodo a analizar y corresponder con el presupuesto del proyecto.
- Que el producto obtenido tenga propósito de utilidad, esto es, que pueda ser utilizado como fuente e insumo para otros productos, estudios, toma de decisiones y apoyo en otros temas tales como planificación, zonificación, ordenamiento territorial, determinación de conflictos, amenazas y riesgos, vulnerabilidad y otros más.
- Facilidad en los procesos administrativos para realizar los trabajos inherentes al levantamiento geomorfológico durante los tiempos oportunos.

## **6.2. CONTROL DE CALIDAD CARTOGRÁFICO**

El control de calidad cartográfico se basa en revisión y corrección continuo y sistemático de la construcción de la zonificación con el propósito de garantizar la calidad geométrica y topológica de los archivos cartográficos generados

El control de calidad cartográfico garantiza la fiabilidad y estructura de los archivos cartográficos digitales.

### **6.2.1. INTERPRETACIÓN Y DIGITALIZACIÓN**

Durante el proceso de digitalización en pantalla deben delinearse las líneas a escalas que oscilan entre la mitad y un cuarto de la escala de salida.

### **6.2.2. UNIDAD MÍNIMA DE MAPEO**

La unidad mínima de mapeo hace referencia a la unidad cartografiada o dibujo más pequeño, que se puede apreciar a determinada salida gráfica. Por norma cartográfica esta debe ser similar al área de un cuadrado de medio centímetro por medio centímetro (0.5 cm x 0.5 cm) para que se pueda distinguir o diferenciar en el mapa impreso de salida a la escala de trabajo escogida.

Esta unidad mínima de mapeo, guarda estrecha relación con la escala de trabajo o escala de captura de la información, que para el caso de la escala 1:100.000 corresponde con 25 hectáreas o 0,25 Km<sup>2</sup>.

Una vez terminado el trabajo de interpretación y realizados los controles de verificación de campo, el intérprete debe proceder a realizar la homologación o fusión de polígonos a



unidades adyacentes, de aquellas unidades que tienen tamaño inferior a la unidad mínima de mapeo. Es posible que se desperdicie esfuerzo y nivel de detalle, sin embargo si estas se mantienen, no serán posibles de percibir en la salida impresa del mapa a la escala de publicación, que puede concordar con la de trabajo, aunque se consideran conceptos diferentes.

Al igual que otros procesos, este requiere de la participación y decisión directa del intérprete geomorfológico, pues implica un análisis temático para decidir cómo va a fusionar, unir o segmentar la unidad de menor tamaño a las unidades adyacentes.

### **6.2.3. SISTEMA DE REFERENCIA**

Todo levantamiento geomorfológico debe cumplir con lo estipulado en las Normas Técnicas generadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en donde se especifica que el sistema de referencia que se debe emplear, actualmente corresponde con el sistema MAGNA-SIRGAS, (IGAC, 2005). Sin embargo, para levantamientos de información geográfica con fines cartográficos en campo se recomienda utilizar como equivalente el sistema WGS84 (Sistema Geodésico Mundial) el cual puede ser utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

### **6.2.4. CARTOGRAFÍA BÁSICA**

La cartografía base muestran diversos atributos de un área geográfica y su función es ubicar al lector en su área de trabajo. Esta cartografía es generada en Colombia oficialmente por el IGAC y trae una serie de información que facilita la localización y los análisis espaciales por medio de la toponimia, la red de drenaje, los cuerpos de agua, las curvas de nivel, la localización de centros poblados y la red vial.

La cartografía básica es fundamental porque de ella se toma el contorno superficial, la estructura o cualquier elemento de interés, y sobre esa estructura se sobrepone el fenómeno geográfico que interesa. En síntesis, facilita la interpretación de la cartografía temática y puede ser insumo para la delimitación de algunas unidades.

Para realizar una delimitación consistente de las unidades se recomienda utilizar la red de drenaje para aquellas unidades en las cuales su límite coincide con esta representación cartográfica

### **6.2.5. CONTROL DE CALIDAD AL SAHPE. CAMPOS DILIGENCIADOS**



Corresponde al proceso de revisión y corrección continuo y sistemático de seguimiento del avance de las diferentes actividades del proceso de construcción de la zonificación geomorfológica con el propósito de garantizar la calidad geométrica, temática y topológica de la base de datos

En la elaboración de un mapa geomorfológico utilizando como referente la Guía, debe corroborarse y cumplirse que

1. Todos los valores del campo SIMBOLO deben estar poblados.
2. Todos los valores del campo DUDA deberán estar poblados con las palabras SI o NO.
3. No deberán existir polígonos menores de la unidad de mapeo mínimamente establecida, exceptuando los que estén en los bordes o límites del área de trabajo.
4. Cuando se haga un proceso de zonificación con varios intérpretes, se debe asegurar la coherencia temática y topológica entre cada una de las zonas interpretadas. Para facilitar el proceso de empalme se recomienda que se utilice como áreas de referencia la grilla del IGAC.
5. No deberán existir polígonos adyacentes con el mismo código
6. Posterior al proceso de verificación topológica, no deberán existir polígonos superpuestos (overlaps) o huecos entre polígonos (gaps).

### **6.3. CONTROL DE CALIDAD TEMÁTICO**

Corresponde al control que se realiza sobre la interpretación de las unidades geomorfológicas cartografiadas. El control de calidad temático se realiza para asegurar que se delimiten las unidades de acuerdo a la guía geomorfológica, es decir, debe velar porque las unidades se interpreten de acuerdo a unos conceptos técnicos tomando como referencia la delimitación de las unidades y la codificación de las mismas.

#### **6.3.1. CONTROL DE CALIDAD DE LA ZONIFICACIÓN PRELIMINAR (REPORTE DE LAS REVISIONES)**

Los reportes corresponden a la revisión de la cartografía por parte de expertos o interventorias técnicas en las cuales se señalan aspectos para que el responsable o intérprete verifique, aclare o corrija. El informe de las correcciones deberá incluir: 1) la cartografía corregida más los nuevos avances, en el caso de informes de avance y 2) un documento en donde se especifiquen todas las aclaraciones solicitadas, resultado de la revisión.

El interventor temático podrá solicitar al intérprete que envíe su cartografía las veces necesarias para su revisión, hasta que se cumplan las condiciones establecidas en estos



lineamientos así como en los términos de referencia del convenio o contrato correspondiente. Cuando se den por el control de calidad cartográfico y temático la información se incorporará a las bases de datos del SINA (Sistema Nacional Ambiental de Colombia) o entidad a cargo del proyecto.

### **6.3.2. VALIDACIÓN Y DEPURACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA INTERPRETADA**

La validación de la cartografía las planchas interpretadas se deben realizar analizando los archivos cartográficos generados sobre imágenes de satélites, el modelo de elevación digital de terreno y sus derivados, e información cartográfica secundaria.

El proceso consiste en la revisión en pantalla de la interpretación confrontada con los insumos mencionados. De esta forma la persona encargada de control de calidad establece si existe una correcta interpretación cartográfica y temática de las unidades, o si hay zonas con dudas que merezcan un tratamiento especial en campo.

La persona encargada del control de calidad debe ser una persona experta que tenga una amplia experiencia en escritorio y en campo.

### **6.3.3. CONTROL DE CAMPO**

Posterior a la interpretación preliminar de la cartografía geomorfológica se debe realizar un trabajo de campo con el fin de estandarizar y clarificar la nomenclatura y estructuras por medio de observaciones en el terreno. Además, este trabajo tiene el objeto de revisar las unidades en las cuales se determinaron inquietudes en el proceso de interpretación.

Durante el trabajo de campo se corrige sobre el terreno la interpretación preliminar, y se completa la información que no aportan ni el DEM ni las imágenes de satélite, es decir que solo se puede identificar en el campo

Para sistematizar y verificar la revisión en campo de las unidades geomorfológicas se deben diligenciar formularios por parte de los interpretes (**anexo 2a**). La complejidad de los formatos de campo depende de los análisis ambientales que se desean realizar y del tiempo disponible para realizar el trabajo de campo.

### **6.3.4. EMPALME DE LA CARTOGRAFÍA**

Una vez revisadas y avaladas las planchas, se debe realizar un proceso de empalme o empate de las planchas que son adyacentes. Esta tarea permite asegurar que los arcos de una plancha sean alineados perfectamente con sus correspondientes en la plancha adyacente. Esta operación requiere ser realizada para cada uno de los cuatro bordes de cada plancha, hasta



que todos los cuadrantes del área de estudio se corrijan. El proceso de empalme debe realizarse utilizando criterios temáticos para que se presente una coherencia en la interpretación entre plancha y plancha

Una vez que se genere el empalme perfecto de áreas en todos los bordes de las planchas, se unen todas las coberturas cartográficas en una, creando una sola cobertura de la geomorfología interpretada. Una vez creada esta cobertura se debe emplear herramientas de disolución de polígonos, las cuales permiten eliminar la línea que define cada plancha.

El trabajo de validación de la cartografía geomorfológica en campo es una etapa fundamental para la consolidación de los estudios de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa y los mapas geomorfológicos multipropósitos propuestos por el Ideam. A continuación se presentan algunos aspectos fundamentales a tener en cuenta para las prácticas de campo

#### **6.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN CAMPO**

La validación de la zonificación geomorfológica y la caracterización de las unidades interpretadas en campo, exige considerar con anterioridad a su realización diferentes aspectos que influyen en la planificación detallada de la misma.

Durante el diseño del trabajo de campo, es necesario considerar diversos factores, los cuales pueden agruparse en:

##### **6.4.1. Factores asociados a los objetivos del trabajo de campo.**

Los estudios geomorfológicos suelen tener diferentes énfasis, por lo cual la descripción y caracterización de cada unidad está asociado con el objeto con el cual fue hecha la interpretación. Como mínimo la caracterización de las unidades en campo deben tener asociados una descripción de la geoforma, material parental, condiciones climáticas predominantes, y principales procesos identificados en la geoforma.

##### **6.4.2. Factores asociados a las características del terreno a investigar**

El área de estudios puede ser un terreno irregular con coberturas naturales poco intervenidas con acceso limitado o una zona de fácil acceso con buena disponibilidad de vías de comunicación que facilita los recorridos en campo.

En cualquiera de los casos al momento de realizar el diseño de campo, es importante disponer de cuanta información sea posible acerca de las características del terreno a investigar, en general las características geológicas, climáticas y de suelos. Esta información puede ser un buen referente a la hora de caracterizar las unidades.

Los recorridos y tiempos estimados en campo deben ser coordinados tomando en cuenta las características del terreno, puesto que estas influyen en la duración de la caracterización de



las unidades. En zonas donde la información referente es deficitaria, es posible que la caracterización de las unidades requiera mayor tiempo en campo para su revisión y caracterización.

Los recorridos previstos para cada uno de los intérpretes tienen como objeto asociado revisar al menos en un caso cada una de las unidades cartografiadas.

#### **6.4.3. Factores operativos.**

En el diseño de la salida de campo se debe tener en cuenta las características de la zona de estudio, en especial el tema de accesibilidad, hospedaje y los tipos de vehículos que se utilizaran para hacer los recorridos.

a. Diseño de las rutas en campo.

b. La planificación del trabajo de campo es crucial para garantizar la óptima ejecución de la revisión y caracterización de las unidades en términos de calidad, seguridad, plazo y costos. Los elementos más importantes en la planificación son los siguientes:

c. Organigrama del equipo de trabajo, incluyendo tareas, responsables, así como líneas de comunicación entre los integrantes de la salida.

d. Asignación de recursos materiales necesarios para la comprobación de las unidades (Como los mapas de impresión).

e. Cronograma de trabajo, en el que se refleje la duración estimada de la revisión de las unidades y la secuencia temporal de los lugares a revisar. Se recomienda que la planificación temporal sea flexible, a fin de permitir adaptaciones a las situaciones imprevistas.

## 7. CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo con la experiencia adquirida, el desarrollo del mapa piloto y el análisis de la información disponible, se puede hacer las siguientes conclusiones:

1. Levantamientos geomorfológicos:

A escala 1: 100.000, se pueden desarrollar con cierta facilidad con base en la interpretación de las imágenes de sinergismo Landsat o Spot con el modelo de sombras. Esta información puede ser confrontada con el modelo de elevación y pendiente.

2. Uso de aerofotografías y material detallado:

Por el tiempo reducido de tres meses para un levantamiento a escala 1: 100.000, solo se debe emplear este material para aéreas críticas donde las imágenes y la información DEM no puede resolver los problemas de fotointerpretación.

3. Clasificación geomorfológica jerarquizada:

Este técnica permite agrupar las unidades desde los ambientes morfogenéticos hasta las unidades más detalladas con el apoyo de otros estudios incluyendo los Sistemas Morfogénicos del Ideam (2010) como indicativo de los procesos morfodinámicos en los levantamientos a escala 1: 100.000.

4. Área Piloto:



La experiencia con el trabajo del Área Piloto de Neiva – Campoalegre indica que para el levantamiento de una plancha convencional 1: 100.000 requiere por lo menos tres meses de trabajo incluyendo el revisión de información, procesamiento e interpretación de imágenes, análisis y redacción de informe y por lo menos 12 días de verificación de campo para una plancha de 2400 km<sup>2</sup>.

5. Sistema de Colores:

Dado al gran cantidad de unidades, la experiencia con el área piloto también sugieren que el uso del sistema de colores propuesta para los mapas geomorfológicos puede requerir cierta flexibilidad para lograr una mejor contraste y presentación.

6. Áreas Urbanas:

Aunque las zonas urbanas modifican las geoformas básicas, especialmente a través de la impermeabilización de los terrenos, para la escala de 1: 100.000, se recomienda abordar su análisis y representación a escalas más detalladas.

7. Procesos antrópicos:

Sin embargo, se recomienda darle importancia a las modificaciones del terreno de mayor magnitud tales como los rellenos y basureros además de las excavaciones asociados con la minería. Estos procesos antrópicos modificarán las condiciones locales de drenaje y afectarán potencialmente la estabilidad de los terrenos locales y circundantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BLOOM, A., 1998. *Geomorphology, a systematic analysis of Late Cenozoic landforms*. Prentice-Hall, New Jersey, 510p.
- [2] BOTERO, P., 1980. Características geo-morfo-pedológicas de los paisajes entre los ríos Putumayo y Caquetá, Amazonia Colombiana. *Rev. CIAF* 5 (1) p.49-96.
- [3] COOKE, R.U. & J. C. DOORNKAMP, 1984. *Geomorphology in environmental management*. Clarendon Press, Oxford, UK, 410 p.
- [4] CARVAJAL, J.H, 2008. Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia. Documento INGEOMINAS, Bogotá, 30p.
- [5] IDEAM, 2010. *Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano*. Bogotá, 252 p.
- [6] INVEMAR, 2012. *Diagnostico de la erosión costera del territorio insular colombiano*, Santa Marta, 112 p.
- [7] FLOREZ, A., 1983. "Cadena volcánica de los Coconucos, Cordillera Central". En: *Colombia Geográfica* (10), 2, 33 - 56. IGAC, Bogotá.
- [8] FLOREZ, A. 1986. Recesión de los glaciares colombianos desde la Pequeña Edad Glacial. *Revista Colombiana de Geografía*, XVI, p.7-16.
- [9] FLOREZ, A. Y K. ROBERTSON, 2001. Morfodinámica del Litoral Caribe y amenazas naturales., *Rev. Cuadernos de Geografía*, Vol. X, No. 1, p. 1-36
- [10] FLOREZ, A. 2003. *Colombia; Evolución de sus relieves y modelados*. Univ. Nacional de Colombia. 238 p.
- [11] FLOREZ, A., K. ROBERTSON, A. BARAJAS y N. MARTINEZ Y OTROS. 1996. *Litoral Caribe: Morfodinámica y amenazas naturales*. Convenio Ideam-Univ. Nacional de Colombia, Informe 200 p., 24 mapas, 1: 100.000, Bogotá.
- [12] LECARPENTIER, C., J. KHOBZI, A. PÉREZ, R. OSTER, 1977. *La erosión de tierras en Colombia*. 56 p., mapa 1: 1.500.000. Inderena, Bogotá.
- [13] LECARPENTIER, C., 1970. El Cuaternario de los alrededores de Campo Alegre (Huila-Colombia). *Rev. Geología Colombiana*, No. 7, Bogotá.
- [14] ROBERTSON, K., 1992. Amenazas naturales asociados a los sistemas fluviales y abanicos del Piedemonte Llanero, Colombia. *Mem. I Simp. Internal. sobre Sensores Remotos y SIG aplicados a Riesgos Naturales*. Bogotá, p.114 -127
- [15] ROBERTSON, K. Y N. MARTÍNEZ, 1999. Cambios del nivel del mar durante el Holoceno en el Litoral Caribe, Colombia. *Cuadernos de Geografía*, 8 (1), p.168-198.
- [16] ROBERTSON, K., A. FLORES Y J. L. CEBALLOS, 2003. Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación en Colombia. *Rev. Cuadernos de Geografía*, Vol. XII, N.1, p36-48.
- [17] ROBERTSON, K., 2007, Morfotectónica y dataciones del fallamiento activo del Piedemonte Llanero, Colombia. *Rev. Cuadernos de Geografía*, Vol. XV, N.1,
- [18] SCHUMM, A. S., 1965. *The Fluvial system*. John Wiley & Sons, New York. 338 p.
- [19] SELBY, M.J., 1985. *Earth's changing surface*. Clarendon Press, Oxford. 607 p.



- [20] SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC), 2012. Documento metodológico para la elaboración del mapa geomorfológico, para la generación el mapa nacional de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000., Bogotá, 86p.
- [21] TRICART, J., 1969, La epidermis de la tierra. Labor, Barcelona, 178 p.
- [22] VAN ZUIDAN, R., 1985. Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphological mapping. ITC, Smits Publ., The Hague, Netherlands, 442p.
- [23] VERSTAPPEN, H.Th., VAN ZUIDAM, R.A., 1992. El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos, Una base para la evaluación de recursos y riesgos naturales. Revised ed. Enschede, ITC Publ. 10, 89p.
- [24] VILLOTA, H., 1991. Geomorfología Aplicada a Levantamiento Edafológicas y Zonificación física de Tierras. IGAC, 211p.
- [25] WALKER, R. (ed.) 1984. Facies Models. 2nd. Ed. Geoscience Canada Geol. Soc. Canada.
- [26] ZINCK, A., 1989. Physiography and Soils. Soil survey courses, ITC, Holanda, 156 p.