

Zonificación geomorfológica del Departamento del Cesar, Colombia: una aplicación de la metodología IGAC

Geomorphological Mapping of Cesar Department, Colombia: An Application of the IGAC Methodology

Néstor Javier Martínez Ardila¹

Seiry Soleny Vargas Tejedor²

Recibido 16 de junio de 2021; aceptado 13 de diciembre de 2021

RESUMEN

La Subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), a través del Grupo Interno de Trabajo de Interpretación, realizó la zonificación geomorfológica escala 1:25.000 del Departamento del Cesar (Colombia) siguiendo la metodología propuesta por el IGAC, la cual se basa en un sistema de clasificación geomorfológico jerarquizado aplicado para los levantamientos de suelos. La metodología utilizada en el proceso de elaborar la cartografía geomorfológica para suelos proporcionó un referente técnico que permitió identificar y delimitar las geoformas a la escala semidetallada de manera estandarizada para las diferentes regiones del Departamento del Cesar. Para la interpretación se utilizaron técnicas de estereoscopia digital a partir de bloques fotogramétricos y ortofotomosaicos generados con aerofotografías. Así mismo, se utilizaron productos derivados de Modelos Digitales de Elevación, cartografía básica y temática e imágenes ópticas multispectrales, proporcionadas por el banco nacional de imágenes administrado por el IGAC. La zonificación geomorfológica realizada mostró la presencia de cinco paisajes geomorfológicos: la montaña de relieve abrupto, el piedemonte situado en su base, el lomerío constituido por relieves bajos dispersos, el valle con sus depósitos aluviales alargados y la planicie formada por extensos planos aluviales asociados al Río

¹ Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Colombia, correo electrónico: njmartinez@igac.gov.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6029-0503>

² Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Colombia, correo electrónico: seyrvt@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-8155>

Magdalena. Las geoformas identificadas están constituidas principalmente por sedimentos clásticos transportados y por alteritas de diferentes tipos de rocas. La configuración del relieve actual se considera fuertemente relacionada con los cambios climáticos ocurridos en el Cuaternario y especialmente en el Holoceno, debido a los cambios del nivel del mar que afectaron el Caribe colombiano.

Palabras clave: *Geomorfología, Suelos, Zonificación, Estereoscopia Digital, Departamento del Cesar.*

ABSTRACT

The Agrology Subdivision of the Agustín Codazzi Geographical Institute (IGAC), through the Internal Interpretation Working Group, carried out the 1:25.000 scale geomorphological mapping of the Department of Cesar, Colombia, following the methodology proposed by IGAC, which is based on a hierarchical geomorphological classification used for soil surveys. The methodology applied in the geomorphological mapping process for soils provides a technical reference that allows to identify and delimitate geoforms in a standardized way of semi-detailed scale for the different areas in the Cesar Department. Therefore, for this interpretation, digital stereoscopy techniques were used from photogrammetric and Orthophoto mosaic blocks generated with aerial photographs. Likewise, as from products obtained from Digital Elevation Models (DEM), basic and thematic cartography and multispectral images, were provided by the IGAC National Satellites Images Bank. The geomorphological zoning revealed 5 geomorphological landscapes: The High-elevation Mountain, the foothills located at its base, the hills formed by scattered low reliefs, the Valley with its elongated alluvial deposits and the Plain formed by extensive alluvial planes associated with the Magdalena River. The geoforms identified are mainly composed by transported clastic sediments and alterites from different types of rocks. The arrangement of the current geographical relief is strongly related with the Quaternary climate changes, especially in the Holocene, due to the changes in sea level that affected the Colombian Caribbean Region.

Key words: Geomorphology, soils, Mapping, Digital Stereoscopy, Cesar Department.

1. Introducción

El presente artículo expone los resultados de la investigación realizada que tuvo como objetivo zonificar y caracterizar las geoformas del Departamento del Cesar a escala semidetallada (1:25.000), de acuerdo con el sistema de clasificación geomorfológica aplicado a los levantamientos de suelos propuesto por el IGAC (2019) y los estándares definidos por la Subdirección de Agrología en su sistema de gestión integrado (IGAC 2017a, 2017b, 2017c, 2017d, 2018); para su ejecución se contó con un grupo de 15 profesionales en ciencias de la tierra adscritos al Grupo Interno de Trabajo de Interpretación, que fueron capacitados para la obtención de información temática a partir de imágenes y productos de sensores remotos. El proyecto tuvo una duración aproximada de tres años.

El sistema de clasificación geomorfológica propuesto por IGAC (2019) proporciona un referente para elaborar cartografía geomorfológica aplicada a los levantamientos de suelos a las escalas general (1:100.000) y semidetallada (1:25.000), permitiendo identificar y delimitar las geoformas de manera estandarizada para las diferentes regiones del país, de acuerdo con criterios geométricos, genéticos y relacionales, entre los que se incluyen características intrínsecas de las geoformas (como configuración y composición), nivel de pertenencia y subordinación al paisaje geomorfológico y su génesis.

Para Colombia, se tienen las propuestas de estandarización de la cartografía geomorfológica presentadas por el Servicio Geológico Colombiano (Carvajal, 2012; Servicio Geológico Colombiano —SGC, 2012) donde definen una jerarquización geomorfológica basada en la morfología y los procesos geomórficos, sin llegar a establecer un conjunto de geoformas definidas en todos los niveles del sistema jerárquico propuesto. También están las propuestas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), una que establece una zonificación morfodinámica nacional (IDEAM, 2010) a escala 1:500.000 y otra que propone un sistema de clasificación para elaborar cartografía geomorfológica a escala 1:100.000 (IDEAM, 2013), que conjuga elementos de morfogénesis y morfodinámica. En ambas propuestas de IDEAM se establece un conjunto de geoformas para los niveles categóricos considerados.

La información geomorfológica obtenida bajo la metodología IGAC es base fundamental para los estudios de suelos y se constituye a su vez en insumo valioso para el catastro multipropósito, la ordenación de cuencas hidrográficas, la planificación integral del territorio y la evaluación de potenciales amenazas en los estudios de gestión del riesgo, entre otras aplicaciones.

El contenido muestra la caracterización y delimitación de las geoformas del Departamento del Cesar a escala semidetallada, en la cual se identificaron y cartografiaron los paisajes geomorfológicos, los ambientes morfogenéticos, los tipos de relieve y las formas de terreno que conforman su territorio. Para los diferentes tipos de relieve y formas de terreno se identificó y clasificó el material geológico que los constituye. La información se complementó con la identificación de los principales procesos geomorfológicos que intervinieron en la conformación del relieve y que han actuado principalmente durante el Cuaternario.

2. Área de estudio

El Departamento del Cesar se encuentra ubicado al nororiente del país, sobre la región Caribe, al oriente limita con Venezuela y el Departamento de Norte de Santander, al norte con La Guajira y al occidente con los departamentos de Magdalena, Bolívar y Santander; tiene una extensión aproximada de 22.562 km² y cuenta con 25 municipios. Su capital es el municipio de Valledupar, ubicado en la parte norte del departamento (Figura 1).

Los principales rasgos geográficos son: al noroccidente, la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) con alturas superiores a los 5.700 msnm y climas que

varían de nival superhúmedo hasta el templado semiárido en sus estribaciones; recorriendo todo el límite oriental del departamento se encuentra la Serranía del Perijá, con climas de muy frío húmedo a cálido semihúmedo y su máxima elevación en el Cerro Pintado, con altura aproximada de 3.660 msnm, localizado en el municipio de Manaure Balcón del Cesar. El sector central y sur-occidental se caracteriza por presentar zonas bajas, con alturas menores a 200 msnm correspondientes a los valles de los ríos Cesar, Ariguani y Magdalena, junto al complejo cenagoso de Zapatosa, con variaciones climáticas de cálido semiárido y cálido semihúmedo (IDEAM, 2014).

De manera general, el relieve del departamento se puede considerar contrastado, de baja altura, perfil suave y ondulado en el sector central y sur occidental; en tanto que es alto y abrupto en los sectores oriental y noroccidental, en el área que ocupan los macizos rocosos de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá. Esta marcada diferenciación es el resultado de la complejidad geológica y estructural que caracteriza la región norte de Colombia, así como de la acción principal de los procesos morfodinámicos asociados a los cambios bioclimáticos que han actuado durante los últimos 2 millones de años en esta región (Van der Hammen, 1981). Como resultado de su acción, se destaca la formación de relieves y depósitos de origen glaciar en la parte alta de la sierra, la acumulación de extensos depósitos aluviales en las partes topográficamente bajas y de amplios piedemontes en la base, tanto de la SNSM como de la Serranía del Perijá (Flórez, 2003).

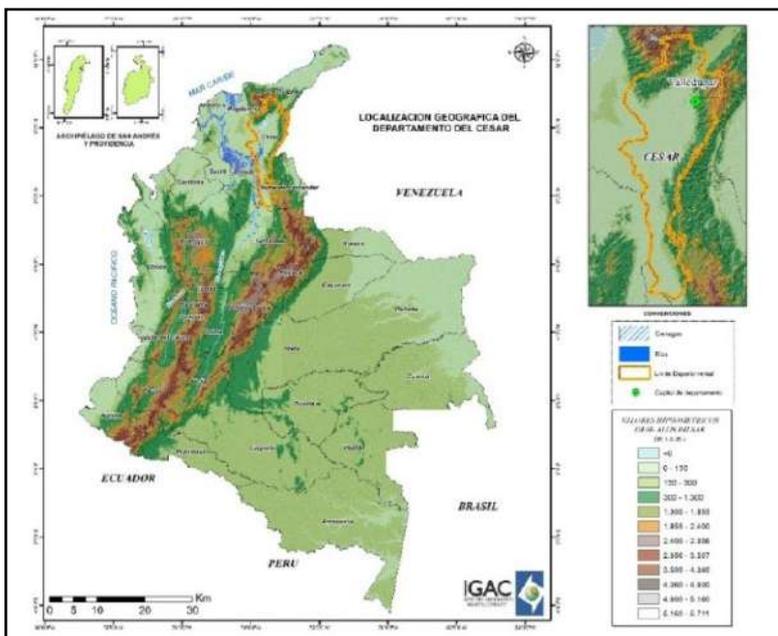


Figura 1. Localización del área de estudio.

Fuente: el estudio.

3. Metodología

La geomorfología es la disciplina de las ciencias de la Tierra que estudia la génesis, evolución y composición de las formas del relieve, así como las causas y los efectos de las fuerzas, los procesos y los agentes que las formaron (adaptado de Carvajal, 2012). Estas formas del relieve, o geoformas en un sentido amplio, son cuerpos naturales constituidos por un material, un volumen y una forma espacial, que son descritos y delimitados por observación directa en el terreno y mediante la interpretación de productos derivados de sensores remotos. En este sentido, el término geoforma se utiliza como una denominación genérica para designar todas las unidades geomorfológicas, a cualquier escala cartográfica y cualquier jerarquía.

La identificación de dichas geoformas para el departamento se realizó con base en la metodología desarrollada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y descrita en IGAC (2017a), la cual define un sistema taxonómico para organizar de manera sistemática y jerarquizada las geoformas bajo el enfoque de la geopedología (Zinck, 2012), este sistema consta de cinco niveles categorizados que van de lo general a lo particular. En este enfoque se asume que la geomorfología ofrece el marco natural para estudiar la formación, evolución y distribución de los suelos, y coadyuva en el proceso de representación cartográfica.

En el sistema taxonómico propuesto por IGAC (2017a; IGAC, 2019) se establecen equivalencias entre los conceptos genéricos que definen las categorías de las geoformas y las categorías definidas en el sistema taxonómico de suelos, lo que a la vez permite asignar escalas de trabajo y de representación cartográfica.

La aplicación de la geomorfología en la elaboración de los levantamientos de suelos requiere que las geoformas estén organizadas en un sistema jerárquico para que puedan ser utilizadas a diversos niveles categóricos, los cuales están de acuerdo con el grado de detalle de la cartografía de suelos.

Tabla 1. Sistema de clasificación de las unidades geomorfológicas aplicado a levantamientos de suelos

<i>Nivel</i>	<i>Categoría</i>	<i>Definición abreviada</i>
5	Paisaje geomorfológico	Amplia porción de terreno caracterizada por la repetición de tipos de relieve
4	Ambiente morfogenético	Tipo general de medio biofísico originado y controlado por la geodinámica
3	Tipo de relieve	Forma que compone la superficie terrestre
2	Material geológico	Material que da origen a las formaciones superficiales que recubren la corteza terrestre
1	Forma de terreno	Unidad geomorfológica elemental determinada por los contrastes morfológicos y morfométricos dominantes

Fuente: IGAC (2019).

Para organizar las geoformas identificadas en el Departamento del Cesar y con el fin de elaborar la cartografía geomorfológica que sirve de base para los levantamientos de suelos, se utilizó el sistema de clasificación del IGAC (IGAC, 2019) que permitió jerarquizar las unidades geomorfológicas de acuerdo con criterios geométricos, genéticos y relacionales, entre los que se incluyen características intrínsecas de las geoformas (como configuración y composición), nivel de pertenencia y subordinación al paisaje geomorfológico y su génesis. En la Tabla 1 se presentan las categorías definidas para el sistema de clasificación y una breve descripción de estas.

La elaboración de la cartografía geomorfológica del Departamento del Cesar está soportada y documentada a través de guías e instructivos, que hacen parte del sistema de gestión integrado del IGAC, los cuales describen los conceptos, insumos, métodos y normas para su generación; en la Tabla 2 se listan los documentos base utilizados para la elaboración de esta cartografía. De igual forma, en el presente capítulo se describen algunos aspectos teóricos de la clasificación geomorfológica, los principales insumos utilizados y los métodos aplicados para la zonificación geomorfológica realizada.

Tabla 2. Documentos del sistema de gestión integrado del IGAC para elaborar cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos

<i>Leyenda Nacional de Interpretación geomorfológica (Escala 1:10.000; Escala 1:25.000; Escala 1:100.000)</i>
Metodología Elaboración de Cartografía Geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos
Guía Glosario de términos geomorfológicos aplicados a levantamientos de suelos
Manual de procedimiento Cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos
Guía Interpretación de Materiales Geológicos a partir de sensores remotos para la cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos
Instructivo Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos a partir de técnicas análogas
Instructivo Elaboración de Cartografía Geomorfológica digital en 2D aplicada a levantamientos de suelos
Instructivo Elaboración de cartografía geomorfológica digital en 3D aplicada a levantamientos de suelos
Instructivo Trabajo de campo para la elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos
Instructivo Control de calidad de la interpretación geomorfológica digital aplicada a levantamientos de suelos

Fuente: el estudio.

3.1. Materiales

Para la elaboración de la cartografía geomorfológica aplicada a levantamiento de suelos escala 1:25.000 se utilizaron varios insumos: información geológica, la

leyenda nacional de geomorfología aplicada a levantamiento de suelos escala 1:25.000 (Tabla 5) y productos de sensores remotos como ortofotomosaicos y bloques fotogramétricos derivados de fotografías aéreas del IGAC, imágenes ópticas multiespectrales de los sensores *RapidEye* y *SPOT*, proporcionadas por el banco nacional de imágenes, el modelo digital de elevación —*DEM Alos Palsar* y sus productos derivados como mapa de sombras y mapa de pendientes.

3.1.1. Información geológica

Para la contextualización geológica y la clasificación de los materiales geológicos aplicados a los levantamientos de suelos se consultaron alrededor de 23 planchas geológicas escala 1:100.000, el mapa geológico departamental, así como mapas geológicos del sector de la SNSM, que corresponden a información publicada por el SGC.

3.1.2. Leyenda nacional

La interpretación geomorfológica se realizó usando la leyenda nacional escala 1:25.000 (IGAC, 2017c), la cual caracteriza las unidades geomorfológicas en las diferentes regiones del país (Martínez *et al.*, 2017). Esta fue generada por el Grupo Interno de Trabajo de Interpretación de la Subdirección de Agrología del IGAC. En la Tabla 5. se observan los paisajes geomorfológicos, ambientes morfogenéticos, tipos de relieve y las formas de terreno, entre otros atributos, que fueron identificados para este departamento.

3.1.3. Insumos de sensores remotos

Se emplearon insumos de sensores remotos aerotransportados, como fotografías aéreas, a partir de las cuales se generaron ortofotomosaicos y bloques fotogramétricos para su interpretación con la técnica de estereoscopia digital, en la Tabla 3 se relacionan las fotografías utilizadas; adicionalmente se utilizó el *DEM Alos Palsar* y sus productos derivados, como son el mapa de sombras y el mapa de pendientes. En la Figura 2 se observan dos ejemplos de los productos utilizados en la elaboración de la cartografía geomorfológica del departamento.

Tabla 3. Fotografías aéreas empleadas para la interpretación con la técnica de estereoscopia digital

<i>Vuelo</i>	<i>Año</i>	<i>Cantidad de fotografías</i>
C-2169	1985	55
C-2135	1984	21
C-2161	1984	32
C-2375	1989	20
C-2419	1990	19
C-2795	2006	133
C-2796	2006	120
C-2793	2006	64
C-2794	2006	54

<i>Vuelo</i>	<i>Año</i>	<i>Cantidad de fotografías</i>
C-1715	1976	6
C-2434	1990	16
C-2435	1991	13
C-2506	1992	16
Área	1'029.545 ha	Total: 569

Fuente: el estudio.

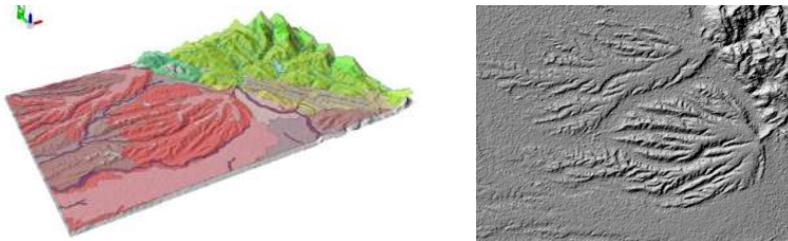


Figura 2. Vista en 3D y 2D del paisaje piedemonte, obtenidas a partir del modelo de sombras derivado del DEM Alos Palsar (Municipio de Aguachica).

Fuente: el estudio.

3.2. Métodos

La cartografía temática se realizó con las especificaciones técnicas de un estudio de tipo semidetallado, con nivel de representación cartográfica de escala 1:25.000 y discriminado temáticamente al nivel de forma de terreno, siguiendo los parámetros definidos en IGAC (2017a). Para la representación cartográfica se utilizó como unidad mínima cartografiable el área de 1,6 hectáreas. La estructura, características y especificaciones de la base de datos que almacena la información vectorial de la cartografía geomorfológica se realizó bajo los lineamientos definidos en IGAC (2017a), cumpliendo con los criterios de calidad especificados en IGAC (2017b). En la Tabla 4 se mencionan algunos de los criterios de calidad considerados y se describen de manera general los principales métodos utilizados en el desarrollo de la zonificación geomorfológica.

3.2.1. Interpretación geomorfológica

La interpretación fue desarrollada en su totalidad con técnicas digitales, usando principalmente la estereoscopia digital para su obtención; la estereoscopia es un proceso que se realiza de manera natural cuando un observador mira simultáneamente dos imágenes de un mismo objeto, que han sido captadas desde dos posiciones distintas. Cada ojo ve una imagen y el resultado de ese proceso es la percepción de la profundidad o tercera dimensión (Quiroga & Morales, 2015), esta técnica permitió identificar características y rasgos que como lo indica Saiz (2010) no se hubieran determinado por medios tradicionales.

Tabla 4. Principales criterios de calidad del protocolo de revisión final de la capa de geomorfología del Departamento del Cesar

<i>Criterios de calidad</i>		<i>Protocolo de revisión</i>
Control temático	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión temática de la línea • Calidad temática del polígono • Nivel de detalle de la unidad • Material geológico • Calidad del trazo de la línea 	Verificación de criterios de calidad junto con continuidad de paisajes, tipo de relieves, formas de terreno y materiales geológicos de acuerdo con la clasificación consignada en los documentos, IGAC (2019) e IGAC (2017b)
	Control de áreas	Revisión y corrección de polígonos menores a las unidades mínimas de mapeo y excepciones descritas en el documento IGAC (2017a)
Control cartográfico	Tabla de atributos	Verificación de la consistencia en el diligenciamiento de la tabla de atributos de la capa de geomorfología acorde con IGAC (2017c)
	Topología	Verificación de reglas topológicas: <ul style="list-style-type: none"> • Superposición de polígonos <i>-Must Not overlap</i> • Vacíos dentro de la capa interpretada <i>-Must Not Have Gaps</i> • Cubrimiento exacto de la zona de estudio <i>-Must Be Covered by Feature Class of</i>
	Polígonos Adyacentes	Identificación y corrección de polígonos de igual atributo

Fuente: Construido a partir de los criterios y protocolo de revisión consignados en IGAC (2017b).

Para la aplicación de esta técnica se utilizó la extensión Stereo Analyst del software ArcGIS, empleando los bloques fotogramétricos construidos a partir de fotografías aéreas del IGAC. En la Figura 3 se observa la estación de trabajo dispuesta para la interpretación en ambiente 3D.



Figura 3. Estación de trabajo para interpretación con estereoscopia digital.
Fuente: Vargas *et al.* (2020)

3.2.2. Caracterización del material geológico

El material geológico es definido como los materiales que dan origen a las formaciones superficiales que recubren la corteza terrestre, los cuales dependen de la naturaleza petrográfica de las rocas que sirven de sustrato a las geoformas y de los sedimentos que componen los depósitos no consolidados (IGAC, 2019).

Este material geológico constituye las formaciones superficiales que dan lugar, en su parte externa, a la formación de los suelos. Por tanto, con base en esta información se puede inferir o realizar una aproximación de la naturaleza de los materiales parentales a partir de los cuales se desarrollaron los suelos.

Para la caracterización de los materiales geológicos aplicados a levantamientos de suelos se utilizó la cartografía geológica publicada por el Servicio Geológico Colombiano, la cual en su mayoría se encuentra a escala 1:100.000. En la Figura 4. se describe el proceso general para la obtención de este atributo en la cartografía geomorfológica aplicada a los levantamientos de suelos.

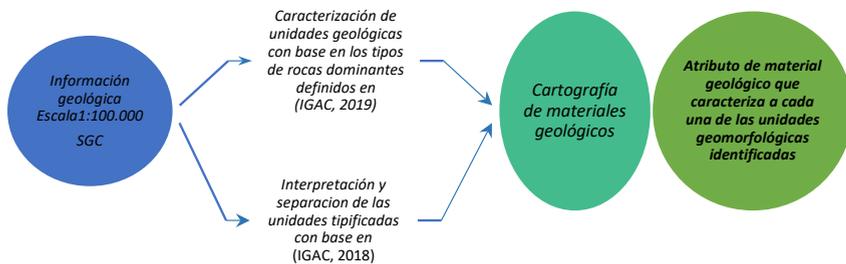


Figura 4. Proceso para la caracterización de las unidades geomorfológicas del Departamento del Cesar con base en el material geológico.

Fuente: el estudio.

La información analizada a nivel de formación geológica permitió realizar de manera preliminar la identificación y localización de las diferentes agrupaciones de rocas propuestas por IGAC (2019), junto con las principales acumulaciones de sedimentos reportadas en la misma. A continuación, se realizó el ajuste de la delimitación de las unidades de materiales geológicos constituidos por alteritas con ayuda de los criterios cartográficos planteados por IGAC (2018) y de las formaciones superficiales constituidas por sedimentos, acorde con el nivel de detalle requerido para la cartografía semidetallada. Finalmente, después de obtener la zonificación de las unidades de forma de terreno, se realizó la caracterización de los materiales que las constituyen.

Es importante mencionar que de acuerdo con los lineamientos técnicos de la metodología para elaborar cartografía geomorfológica semidetallada aplicada a suelos (IGAC, 2017a) se sugiere usar cartografía geológica escala 1:25.000, sin embargo, al no estar disponible este insumo para el Departamento del Cesar, se procedió a usar la cartografía oficial publicada a la escala 1:100.000.

3.2.3. Caracterización de las geoformas

El discernimiento y la representación cartográfica de las geoformas se realizó de acuerdo con las características morfológicas, morfométricas, morfogenéticas y morfocronológicas de las geoformas definidas por IGAC (2019). La interpretación realizada fue evaluada por profesionales que cumplen el perfil de control de calidad definido por el instructivo IGAC (2017b), que también define los parámetros y criterios para realizar la revisión y evaluación de la interpretación geomorfológica (Tabla 4). La información obtenida a partir de los sensores remotos fue verificada con observaciones de campo, trabajo de revisión que se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en el instructivo IGAC (2017d).

4. Resultados y discusión

El análisis de la conformación geomorfológica del Departamento del Cesar permitió tener la caracterización de las geoformas de su superficie territorial y llevó a conocer la composición y distribución de los materiales geológicos que las constituyen, a partir de los cuales se establecieron las condiciones para el desarrollo pedogenético de los suelos del departamento.

El análisis de las unidades geomorfológicas identificadas y caracterizadas bajo el sistema de clasificación geomorfológica del IGAC, permitió establecer los principales procesos geomorfológicos que estuvieron o están activos en la configuración de los relieves del departamento, así mismo definir la forma como los diferentes paisajes y materiales litológicos fueron afectados por estos procesos.

4.1. Zonificación geomorfológica

La caracterización y delimitación de las geoformas del Departamento del Cesar a escala 1:25.000 permitió realizar un análisis del contexto geomorfológico, en el cual se identificaron y cartografiaron los paisajes geomorfológicos, los ambientes morfogenéticos, los tipos de relieve y las formas de terreno que conforman su relieve. En la Tabla 5 a manera de ejemplo se sintetizan las principales geoformas identificadas en el paisaje de montaña.

La caracterización geomorfológica semidetallada es una propuesta conceptual y metodológicamente actualizada respecto a varios elementos conceptuales presentados en IGAC-Corpoesar (2017) para el estudio general de suelos del Departamento del Cesar, el cual tuvo como marco conceptual el modelo geopedológico de Zinck (1981) y como guía metodológica el instructivo IGAC (2010), los cuales no fueron utilizados en esta construcción cartográfica. La zonificación semidetallada presentada, aunque conceptualmente retoma bases de la geopedología de Zinck (2012) y utiliza algunos nombres de geoformas del estudio general, fue elaborada en su totalidad con nuevas delineaciones de las unidades geomorfológicas y bajo las definiciones y lineamientos establecidos por IGAC (2019).

Tabla 5. Geoformas del Departamento del Cesar en los niveles de paisaje geomorfológico, ambiente morfogenético, tipo de relieve y forma de terreno para el paisaje de montaña

<i>Paisaje geomorfológico</i>	<i>Ambiente morfogenético</i>	<i>Tipo de relieve</i>	<i>Forma de terreno</i>
Montaña	Denudacional	Artesa	Hembrera
			Ladera
			Bajo
			Fondo de artesa
			Morrena lateral
		Circo	Ladera
			Cubeta de sobreexcavación
			Fondo de circo
		Colina	Ladera
			Ladera
		Cumbre	Escarpe
			Ladera
			Ladera de gelifración
		Loma	Cima
			Ladera
	Deposicional	Abanico aluvial antiguo	Ápice
			Cuerpo
			Talud
		Abanico aluvial subreciente	Cuerpo
		Abanico terraza	Cuerpo
			Talud
		Cono de derrubios	Cuerpo
		Cono de deyección	Cuerpo
			Talud
		Glacis de acumulación	Cuerpo
		Manto coluvial	Cuerpo
		Terraza fluviolacustre nivel 1	Plano de terraza
Plano de terraza 1			
Valle estrecho	Plano de terraza 2		
	Talud		
	Vega		
Vallecito	Vega		

<i>Paisaje geomorfológico</i>	<i>Ambiente morfogenético</i>	<i>Tipo de relieve</i>	<i>Forma de terreno</i>		
Montaña	Disolucional	Depresión cárstica	Dolina		
			Uvala		
		Loma cárstica	Mogote		
		Valle cárstico	Fondo de valle		
	Estructural	Crestas paralelas		Ladera	
				Escarpe	
			Crestón	Frente	
				Resalto	
				Revés	
		Cuesta		Escarpe	
				Frente	
				Revés	
			Espinazo		Escarpe
					Frente
					Resalto
Fila y viga		Revés			
		Ladera			
		Ladera coluvial			
		Escarpe			
		Cima			

Fuente: el estudio.

De los siete paisajes geomorfológicos propuestos por IGAC (2019) en el modelo geomorfológico para Colombia, se identificaron cinco paisajes que constituyen el relieve departamental (Figura 5). Los paisajes con mayor representación porcentual en el área del departamento son el piedemonte, que comprende el 39,6%, y la montaña con el 38,75%.

En el piedemonte predominan ampliamente los relieves formados en el ambiente deposicional, que comprenden casi el 96% del área total de este paisaje. En este ambiente, la mayoría de los relieves cartografiados corresponden a abanicos (dominando principalmente el abanico subreciente). Los relieves de ambiente denudacional representan una mínima fracción del paisaje, aproximadamente el 3%.

El paisaje montaña, cuya génesis está directamente relacionada con la presencia de los macizos rocosos de la sierra nevada y de la Cordillera Oriental, está constituido en gran parte (85%) de relieves de ambiente estructural que incluyen mayoritariamente filas y vigas y en porcentajes menores espinazos, crestones, cuestas y crestas paralelas respectivamente.

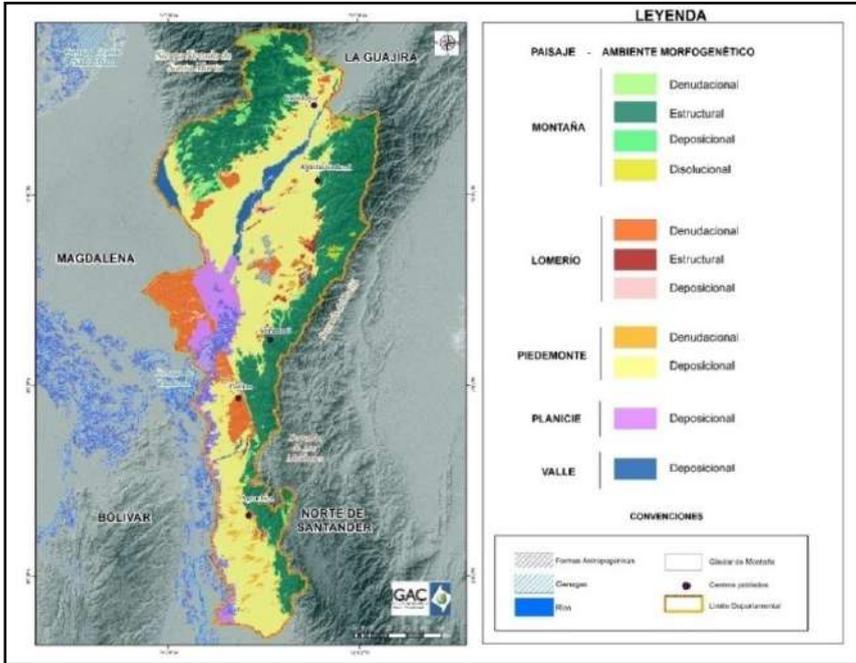


Figura 5. Distribución de los paisajes geomorfológicos del Departamento del Cesar.
Fuente: El estudio.

El ambiente denudacional de montaña comprende casi el 10,37% y está representado por el relieve de loma, que se localiza de forma irregular sobre varios tipos de materiales, y por el conjunto de relieves asociados a las geofomas que tuvieron origen en los modelados de origen glaciar, y que se localizan en la parte alta de la SNSM. En los modelados glaciares, predomina el relieve de cumbre, como reflejo de los procesos de gelifracción que ocasionaron las masas de hielo que ocuparon la parte alta de la sierra y de los cuales aún quedan relictos.

La actividad de los agentes que actúan en el ambiente deposicional tanto de la sierra nevada como de la Serranía del Perijá quedó plasmada principalmente en el relieve de vallecito, que está asociado a una profunda red de drenajes de montaña; también se destaca en este aspecto, los depósitos asociados a los relieves de valle estrecho, abanico terraza y glacis de acumulación.

El ambiente morfogenético con menor extensión en el área es el disolucional, relacionado a la acción de los procesos químicos sobre rocas tipo caliza presentes en la Serranía del Perijá. El relieve más importante en este ambiente son las lomas cársticas.

El paisaje planicie representa el 8,67% del área del departamento y está constituido en su totalidad por relieves del ambiente deposicional, conformado por los materiales denudados de la sierra nevada y de las cordilleras y serranías del interior del país, que dieron lugar a la construcción de amplios depósitos por

la acción de los ríos y que fueron acumulados en las depresiones denominadas como Magdalena y Cesar (IDEAM, 2010).

Los ríos que drenan la superficie del departamento formaron los depósitos asociados al paisaje valle, los cuales representan aproximadamente el 3% del área total. La totalidad de los relieves del paisaje corresponden al ambiente deposicional y la unidad más característica cartografiada es la terraza aluvial nivel 1, que es muy frecuente en los ríos que disectan al paisaje piedemonte.

En cuanto al paisaje lomerío, que representa el 9,28% del área total estudiada, tiene un fuerte predominio de relieves de ambiente denudacional (82%) con prevalencia de la unidad denominada loma. Los relieves de ambiente deposicional alcanzan una fracción aproximada del 12% y está representada principalmente por el relieve de vallecito. En cuanto al ambiente estructural de lomerío, este representa el 5,39% del paisaje y está constituido principalmente por la unidad de crestón, que es producto de plegamientos suaves sobre rocas de edad neógena principalmente.

4.2. Formas de terreno

El levantamiento geomorfológico a nivel semidetallado permitió reconocer las formas de terreno que constituyen los tipos de relieve identificados en el Departamento del Cesar, de acuerdo con el sistema de clasificación propuesto por IGAC (2019). En este aparte, a manera de síntesis, se destacan los principales relieves y las formas de terreno que los constituyen.

En la montaña, se destacan las geoformas asociadas a modelados de origen glaciar como son la artesa, el circo y la cumbre, donde los procesos de gelificación produjeron formas de terreno como la morrena lateral, la hombrera, la cubeta de sobreexcavación, la ladera de gelificación y los fondos de artesa y circo. Otro grupo de geoformas particulares de la montaña son los relieves de origen disolucional, donde se cartografió la depresión y el valle cárstico; como formas de terreno fueron identificadas la dolina, la úvala, el mogote y el fondo de valle. Asociado al control litológico de las rocas ígneas y metamórficas, sólo en la montaña se presenta la geoforma de fila y viga, la cual está constituida por las formas de terreno de cima, escarpe, ladera y ladera coluvial; relacionada con las laderas conformadas en estos materiales, también se identificó la unidad de manto coluvial, constituida por la forma de terreno de cuerpo.

Las geoformas de origen estructural como son la cuesta, el crestón y el espinazo fueron identificadas en la montaña y el lomerío, donde se caracterizaron las formas de terreno de frente, revés, resalto y escarpe como sus constituyentes. Se destaca la ocurrencia de la geoforma de crestas paralelas en la montaña, que están labradas sobre materiales meta-sedimentarios y volcano-sedimentarios y constituidas por la forma de terreno de ladera. En el lomerío, resalta la presencia de las geoformas de cerro estructural y cerro residual, donde la forma de terreno de cima y ladera está constituida por materiales volcano-sedimentarios.



Figura 6. Vista en primer plano del cuerpo de un abanico aluvial subreciente (PASP) y el talud de un abanico aluvial antiguo (PAaT), del paisaje piedemonte. Localización: Vereda Pitalito, municipio de Chimichagua. Departamento del Cesar (fotografía: Néstor Javier Martínez Ardila, 2017).

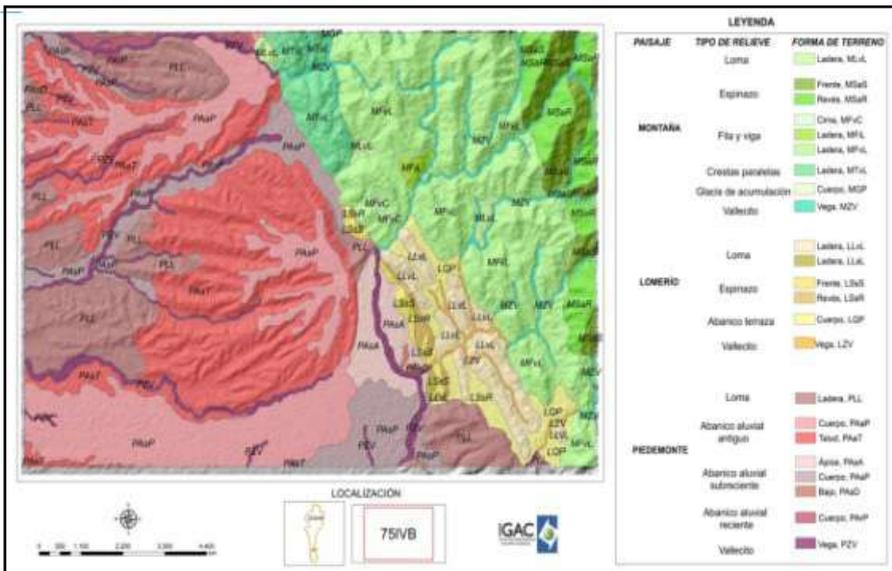


Figura 7. Representación de los paisajes, tipos de relieve y formas de terreno correspondientes a la Plancha 75IVB. Municipio de Aguachica. Fuente: el estudio.

Las geoformas deposicionales más frecuentes son el abanico terraza, el glacis de acumulación, el valle estrecho y el vallecito. Estas fueron cartografiadas en la montaña, el lomerío y el piedemonte, donde se identificaron como formas de terreno constituyentes el cuerpo, la vega y los planos de terraza 1 y 2. En los paisajes de planicie y valle también se identificó la forma de terreno de vega de vallecito, que está asociada con los drenajes locales. En el piedemonte también se destaca la ocurrencia de la geoforma de abanico aluvial, la cual se clasificó en reciente, subreciente y antiguo, y se identificó constituida por las formas de terreno de ápice, cuerpo, bajo y talud (Figura 6).

En la planicie y el valle, la cartografía semidetallada reveló que para ambos paisajes la principal geoforma presente es el plano de inundación de río meándrico, el cual puede ser activo e inactivo, constituido por las formas de terreno de albardón, brazo deltaico, cauce abandonado, complejo de orillares, cubeta de decantación, cubeta de desborde, explayamiento de ruptura, meandro abandonado, napa de desborde, sobrevega y vega.

En la Figura 7, a modo de ejemplo se observa la representación de los paisajes, tipos de relieve y formas de terreno identificados para la plancha escala 1:25.000 - 75IVB IGAC.

4.3. Materiales geológicos

La cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos escala 1:25.000 elaborada para el Departamento del Cesar, permitió realizar la caracterización de los materiales geológicos que recubren su territorio y que potencialmente se convertirán en materiales parentales para la formación de los suelos. Los materiales identificados y clasificados son sintetizados en la Tabla 6.

De acuerdo con la información de la Tabla 6, se estableció que la superficie del Departamento del Cesar está recubierta en un 44,17% por mantos de alteritas de rocas de diferente tipo y el 55,23% comprende sedimentos clásticos de variada procedencia (Figura 8). Los tipos de rocas que presentan procesos de meteorización y que predominan en el departamento son los de origen volcano-sedimentario (12,13%), las rocas ígneas intrusivas y extrusivas félsicas e intermedias (5,56%) y las rocas sedimentarias carbonatadas (4,95%).

Las alteritas de rocas clasificadas como volcano-sedimentarias son las que recubren la mayor parte de la superficie del paisaje montaña, donde se tiene que unidades geológicas compuestas por rocas como arenisca, limolita tobácea, toba, lava dacítica y andesítica y lava riolítica entre otras, son las que aportan estos detritos. También se observó en este paisaje la ocurrencia de alteritas de rocas ígneas extrusivas félsicas como riolita y de rocas meta-sedimentarias. Mientras que, en el paisaje de lomerío, dominan las alteritas de rocas sedimentarias carbonatadas, tipo arenisca calcárea, como fuente de los detritos.

Tabla 6. Distribución porcentual de los materiales geológicos aplicados a levantamientos de suelos para el Departamento del Cesar con base en IGAC (2019)

<i>Material geológico</i>	<i>Área km²</i>	<i>Porcentaje %</i>	<i>Observación</i>
Alwteritas de materiales ígneos, metamórficos, meta-sedimentarios y volcano-sedimentarios; sedimentos clásticos glaciares	143,69	0,64	
Alteritas de materiales ígneos, metamórficos, sedimentarios, meta-sedimentarios y volcano-sedimentarios	46,34	0,21	
Alteritas de rocas ígneas extrusivas félsicas e intermedias	1.253,92	5,56	
Alteritas de rocas ígneas extrusivas máficas	19,27	0,09	
Alteritas de rocas ígneas intrusivas félsicas e intermedias	1.252,31	5,55	
Alteritas de rocas metamórficas de protolito ígneo-metamórfico	795,05	3,52	Alteritas de diferentes tipos de rocas
Alteritas de rocas meta-sedimentarias	1.195,26	5,30	
Alteritas de rocas sedimentarias carbonatadas	1.116,97	4,95	
Alteritas de rocas sedimentarias clásticas arenosas	217,80	0,97	
Alteritas de rocas sedimentarias clásticas arenosas-conglomeráticas	676,14	3,00	
Alteritas de rocas sedimentarias clásticas conglomeráticas	22,33	0,10	
Alteritas de rocas sedimentarias clásticas limo-arcillosas	438,38	1,94	
Alteritas de rocas sedimentarias y metamórficas carbonatadas	47,55	0,21	
Alteritas de rocas volcano-sedimentarias	2.738,29	12,13	
Sedimentos clásticos aluviales	10.895,20	48,28	
Sedimentos clásticos aluvio-coluviales	1.438,31	6,37	
Sedimentos clásticos coluviales	3,54	0,02	Sedimentos clásticos de diferente tipo
Sedimentos clásticos coluvio-aluviales	116,13	0,51	
Sedimentos clásticos fluvio-lacustres	0,07	0,00	
Sedimentos clásticos glaciares	11,10	0,05	

Fuente: el estudio.

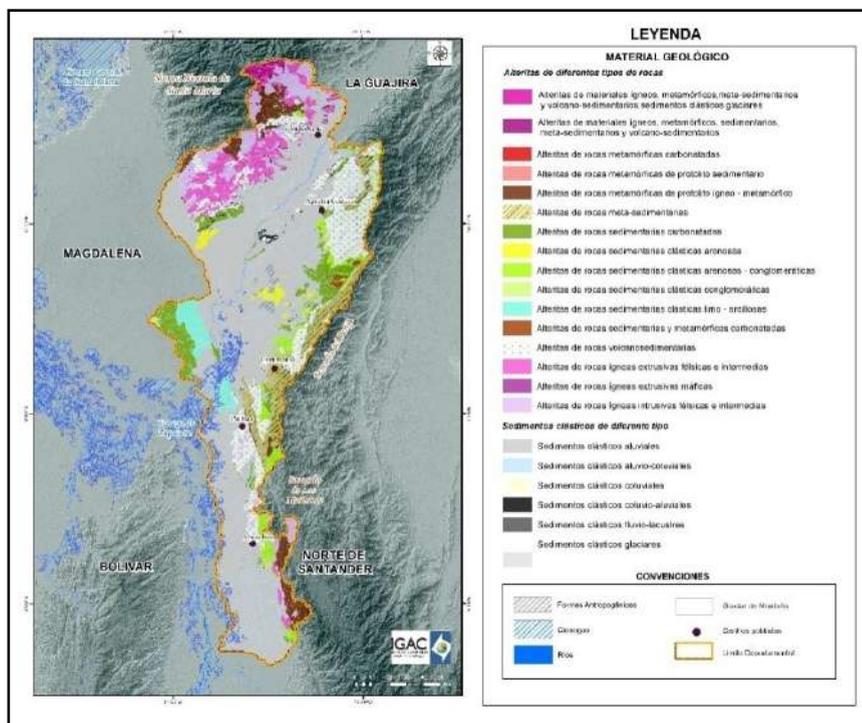


Figura 8. Distribución de los materiales geológicos aplicados a los levantamientos de suelos en el Departamento del Cesar, según la clasificación IGAC (2019).
Fuente: el estudio.

Los sedimentos clásticos se acumularon en depresiones y concavidades presentes en los diferentes sectores del departamento, conformando los paisajes de planicie, valle y piedemonte; estos detritos provienen del desmantelamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta, del lomerío local y las cordilleras y serranías andinas, que fueron arrastrados por los drenajes mayores y menores. Los sedimentos clásticos de origen aluvial, con el 48,8% del área departamental, comprende la mayor parte de la cobertura de sedimentos. Le siguen en valor porcentual los sedimentos de origen aluvio-coluvial (6,37%). El paisaje piedemonte, el cual se puede considerar como receptor de los materiales detriticos arrastrados por los ríos desde la SNSM y la Serranía del Perijá, está completamente formado por sedimentos clásticos aluviales y coluviales.

4.4. Procesos geológicos y geomorfológicos

Los procesos geológicos y geomorfológicos que tienen lugar en cada uno de los paisajes que conforman el territorio del Departamento del Cesar, definen los relieves que los caracterizan y que a grandes rasgos también controlan su distribución. A continuación, se describen los principales procesos analizados que han contribuido a la conformación del relieve departamental.

Dentro de los procesos geológicos que han actuado en el departamento se incluye el levantamiento de las cordilleras, que es ocasionado por el proceso compresivo generado por las fuerzas opuestas que ejercen las placas Suramericana y Pacífica y que implicó estrechamientos que ocasionaron la formación de pliegues y fallas. La principal fase de este plegamiento y fallamiento ocurrió en el Mioceno (Flórez, 2003), posteriormente las estructuras formadas fueron levantadas durante el Plioceno en la fase orogénica. Los procesos de plegamiento generaron una serie de anticlinales y sinclinales, en algunos casos estrechos y en otros de gran amplitud, los cuales enmarcan los relieves estructurales típicos encontrados en la Cordillera Oriental.

El levantamiento del macizo de la sierra nevada y de la Cordillera Oriental trajo como consecuencia la conformación de relieves estructurales y denudacionales hasta alturas cercanas a los 5.700 msnm. En estas áreas de montaña se observan bloques geológicos separados por fallas, donde se revela un relieve afectado por una alta densidad de estas estructuras, las cuales a su vez tienen diferentes direcciones y se entrecruzan, controlando la red de drenaje y las depresiones menores. Las grandes fallas regionales, como la falla Bucaramanga-Santa Marta, definen los grandes rasgos del relieve del departamento, en tanto que las estructuras menores como pliegues, lineamientos, fallas locales, fracturas y diaclasas están relacionadas con las formas del relieve y los modelados.

Los procesos de intemperismo y meteorización actuaron en las rocas que componen los macizos y produjeron su desintegración y alteración en superficie, conformando mantos de alteritas de diferente espesor que las recubren parcialmente. Las pendientes fuertes de los relieves estructurales convirtieron a la SNSM y la Serranía del Perijá en un área denudacional y a la vez en un área proveedora de sedimentos. El potencial hidrogravitatorio generado por el levantamiento de las cordilleras y serranías, desencadenó la formación de los piedemontes (Flórez, 2003) en las depresiones recién formadas, que para el Departamento del Cesar tienen expresiones geomorfológicas influenciadas por el movimiento de fallas como es el caso del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta, considerado un sistema de rumbo de movimiento sinistral, con desplazamiento aproximado de 100 km y actividad reciente (Cuéllar *et al.*, 2012).

Los procesos geomorfológicos glaciares dejaron su huella en la SNSM representados en las geoformas talladas por las masas de hielo durante los períodos glaciales ocurridos en el Cuaternario (Van der Hammen, 1985). Las masas de hielo acumuladas durante los últimos 2 millones de años (Flórez, 1992) permitieron la formación de modelados conformados por detritos glaciares depositados en la parte alta de la sierra. Por acción de la dinámica glacial es posible encontrar modelados glaciares antiguos por encima de los 2.800 msnm (Flórez, 1992) en la SNSM asociados con la última glaciación. A partir de esta altura, se encuentran también evidencias de la acción del hielo durante el Tardiglacial y la Pequeña Edad Glaciar (Flórez, 1992), entre otros eventos climáticos.

El nivel del mar presentó importantes variaciones durante el Cuaternario, Peltier & Fairbanks (2006) refieren importantes descensos como el que alcanzó 120 metros por debajo del nivel actual hace 26.000 años, y en algunas ocasiones

varios metros por encima del nivel del mar actual hace 6.000 años, según Church *et al.* (2013); por ejemplo para Colombia, Burel & Vernet (1981) reportaron una terraza coralina en el sector de Barú ubicada 3 metros sobre el nivel del mar, que fue datada con C14 y registró una edad de formación entre 2500 y 3000 años A.P.

Los procesos aluviales involucran el arrastre de materiales desde la SNSM, los lomeríos locales y las cordilleras y serranías del interior del país, para llevarlos hasta las zonas deposicionales localizadas en los valles y la planicie. Los niveles inferiores del mar produjeron el cambio del nivel de base de sedimentación de la cuenca inferior de los ríos Magdalena y Cesar, lo que se reflejó en la profundización de los drenajes y en una mayor disección de todos los relieves, pero en particular de los que conforman los paisajes de lomerío y piedemonte. Como ejemplos de este proceso geomorfológico, se identificó la disección producida en el lomerío por los arroyos Plato y Aguacatal en su salida a la Ciénaga de Candelaria-Zapatoza y de la Quebrada Caimán, en su conexión con la Ciénaga de El Palmar. Las profundas entrantes de disección talladas en el piedemonte que actualmente ocupan las ciénagas de Alfaro, El Dorado, Bijao, Totumito, Combu y Sahaya, también son ejemplo de la modificación de los relieves emergidos.

El ascenso del nivel del mar durante el Holoceno en el litoral Caribe colombiano (Flórez & Robertson, 2001) varios metros por encima del nivel actual posiblemente produjo el represamiento del Río Magdalena, favoreciendo la construcción, inundación y sedimentación de la planicie aluvial de este río, del complejo deltaico donde se localiza actualmente la Ciénaga Grande de Santa Marta y la formación de numerosos drenajes ahogados laterales al curso inferior y medio del río Magdalena. En este proceso también fueron represados los ríos Cesar y Ariguaní, lo que permitió la sedimentación de la planicie asociada a estos.

5. Conclusiones

El sistema de clasificación geomorfológica aplicada a levantamiento de suelos (IGAC, 2019) y los documentos técnicos desarrollados por la Subdirección de Agrología del IGAC conforman una propuesta metodológica que permitió obtener la cartografía escala 1:25.000 para todo el departamento con las especificaciones requeridas para los estudios de suelos semidetallados, pero que puede ser usada como insumo para diversas aplicaciones. La aplicación sistemática de los lineamientos conceptuales y metodológicos que reúne el sistema de clasificación geomorfológica desarrollado por el IGAC y usado en el Departamento del Cesar garantiza que la zonificación geomorfológica obtenida para escalas detalladas sea estandarizada a nivel nacional.

La cartografía semidetallada de las geoformas reveló que el departamento está constituido por cinco paisajes geomorfológicos, entre los cuales los de mayor extensión son: el piedemonte, que representan el 39,62% del área total del departamento, el de montaña, que alcanza el 38,75% del área, y el de lomerío que representa el 9,22%. Las fracciones menores corresponden a los

paisajes de planicie (6,67%) y valle (3,09%). En el paisaje de lomerío predominan las geoformas de ambiente morfogenético denudacional, en tanto que, en el paisaje de montaña, el ambiente morfogenético que mayor cubrimiento tiene es el estructural. En los paisajes de planicie, valle y piedemonte, por razones genéticas, predomina el ambiente morfogenético deposicional.

La zonificación geomorfológica del Departamento del Cesar a escala semidetallada realizada acorde al sistema IGAC y con el uso de estereoscopia digital permitió identificar cinco paisajes, cuatro ambientes morfogenéticos, 52 tipos de relieve y 180 formas del terreno, las cuales fueron caracterizadas en 20 tipos de materiales geológicos. Estos resultados en conjunto brindan información de la evolución geológica y geomorfológica del departamento y se constituyen en un soporte para el entendimiento de los diferentes procesos que han modelado y actualmente influyen en la morfología de esta región de Colombia.

La cartografía geomorfológica semidetallada permitió conocer las formas de terreno que constituyen los relieves del Departamento del Cesar, ofreciendo la base para elaborar estudios de suelos ajustados a las características morfológicas, morfométricas y morfogenéticas de las geoformas, las cuales controlan en buena medida la distribución de los materiales geológicos que potencialmente dan lugar a los materiales parentales de los suelos. Se identificaron y delimitaron las formas de terreno constituidas por materiales glaciares, aluviales, coluviales y lacustres, producto de la sedimentación en las concavidades y áreas bajas del terreno. También fueron cartografiadas todas las formas de terreno cuyo origen está relacionado con la alteración de las rocas in situ, y que debido a proceso geodinámicos internos de la tierra dieron lugar a estructuras litológicas que sobresalen en el relieve. Estas formas de terreno están constituidas por mantos de alteritas de espesor y extensión irregular, que presentan composición variable que depende del material litológico del que se derivan y que en el Departamento del Cesar presentan una alta variedad de tipos de roca.

En la conformación del relieve del departamento intervinieron procesos geológicos que definieron los grandes rasgos del relieve. Entre ellos se pueden considerar los cambios climáticos que afectaron al planeta, y que produjeron efectos en el medio físico, tales como la formación de glaciares de montaña, el cambio del nivel del mar y la sedimentación asociada a la meteorización de las rocas que constituyen los relieves; finalmente, la neotectónica modificó la forma y la posición de algunas geoformas. Durante el Cuaternario, actuaron los procesos geomorfológicos glaciares, denudacionales, aluviales y deposicionales que modificaron los relieves y dieron paso a la configuración actual de la superficie terrestre que actualmente es visible.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los profesionales Wilson Vargas y Diego Cortes, coordinadores del Grupo de Interpretación de la Subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi por el apoyo y respaldo para el desarrollo

del presente trabajo, a los profesionales intérpretes y controles de calidad que participaron en la elaboración, consolidación, ajustes y revisión de la cartografía geomorfológica escala 1:25.000 del departamento: Jhon Gutiérrez, Héctor López, Néstor Martínez, Johan Orjuela, Adriana Palacios, Geovanny Roncery, Wveimar Samacá, Camilo Serrano, Seiry Vargas y Natalia Zambrano.

Bibliografía

- Burel, T., & Vernet, G. (1981). Evidencias de Cambios del nivel del mar en el Cuaternario de la región de Cartagena (Bolívar). *Revista CIAF*, 6 (1-3), 77-92.
- Carvajal, J. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
<https://doi.org/10.32685/9789589952825>
- Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Pfeffer, D. (2013). Sea Level Change. En Stocker, T. F. et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge. Recuperado de http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf
- Cuéllar, M., López, J., Osorio, J., Carrillo, E. (2012). Análisis estructural del segmento Bucaramanga del sistema de Fallas de Bucaramanga (SFB) entre los municipios de Pailitas y Curumaní, Cesar-Colombia. *Boletín de Geología*, 34(2), 73-101. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/boge/v34n2/v34n2a04.pdf>
- Flórez, A. & Robertson, K. (2001). Morfodinámica del litoral Caribe y amenazas naturales. *Revista Cuadernos de Geografía*, X (1), 1-35. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/71753/65702>
- Flórez, A. (1992). Los nevados de Colombia: glaciales y glaciaciones. *Revista Análisis Geográficos*, (22), 1-95.
- Flórez, A. (2003). *Colombia: evolución de sus relieves y modelados*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: Unibiblos.
- IDEAM (2010). *Sistemas Morfogénicos del territorio colombiano*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C.
- IDEAM (2013). *Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 88 pp. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152722/Guia_Enero_201401+%281%29.pdf/501aa421-a0e4-4a1d-a5c8-d6cb1b0de520#:~:text=La%20Gu%C3%ADa%20Metodolog%C3%ADa%20para%20el,etapas%20futuras%20a%20escalas%20mayores
- IDEAM (2014). WMS. *Clasificación climática de Caldas-Lang*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co:geoapps.ideam.gov.co:8080/geoserver/Clima/wms?>
- IGAC (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos. Manual de códigos*. Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología, Documento interno.
- IGAC (2017a). *Metodología Elaboración de Cartografía Geomorfológica aplicada a Levantamientos de suelos*. Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología, Documento interno.
- IGAC (2017b). Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología, Documento interno.

- IGAC (2017c). *Leyenda de interpretación geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos*. Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología, Documento interno.
- IGAC (2017d). *Instructivo Trabajo de Campo para la Elaboración de Cartografía Geomorfológica aplicada a Levantamientos de Suelos*. Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología, Documento interno.
- IGAC (2018). *Guía Interpretación de Materiales Geológicos a partir de sensores remotos para la cartografía geomorfológica aplicada al levantamiento de suelos*. Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología, Documento interno.
- IGAC (2019). *Sistema de clasificación geomorfológica aplicado a los levantamientos de suelos*. Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- IGAC-Corpoesar (2017). *Departamento del Cesar Estudio General de Suelos y Zonificación de tierras Escala 1:100.000*. Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Martínez A., N., López S, H., Samacá T., W., & Vargas T, S. (2017). Elaboración de la leyenda geomorfológica nacional aplicada a los levantamientos. *Análisis Geográficos* (53), 17-24. Recuperado de https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/analisis_geograficos_53_2017.pdf
- Peltier, W., & Fairbanks, R. (2006). Global Glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended, Barbados, sea level record. *Quaternary Science Reviews*, 25, 3322-3327. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.04.010>
- Quiroga, E., & Morales, L. (2015). La estereoscopia, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento. *Revista Científica General José María Córdova*, 13(16), 201-209. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/recig/v13n16/v13n16a10.pdf>
- Saiz, M. (2010). *Reconstrucción tridimensional mediante visión estéreo y técnicas de optimización*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas.
- SGC (2012). *Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenazas por movimientos en masa escala 1:100.000*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano, 123 pp.
- Van der Hammen, T. (1981). Glaciales y glaciaciones en el Cuaternario de Colombia: Paleoecología y estratigrafía. *Revista CIAF*, 6 (1-3), 635-638.
- Van der Hammen, T. (1985). The Plio-Pleistocene climatic record of the tropical Andes. *Journal of the Geological Society*, (142), 483-489. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.142.3.0483>
- Vargas, S., López, H., Cortes, D., & Vargas, W. (15-17 octubre, 2020). Uso de estereoscopia digital para la detección y caracterización de movimientos en masa y procesos erosivos. Caso de estudio: Salento-Quindío [Presentación de la ponencia]. 14a Semana Técnica de Geología, Ingeniería Geológica y Geociencias 2020, Universidad de Pamplona, Plataforma virtual.
- Zinck, J. (2012). Geopedología: elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. *ITC*. Recuperado de https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2012/general/zinck_geopedologia_2012.pdf