

# **GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA COSTERA ADYACENTE AL PIEDEMONTES OCCIDENTAL DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA ENTRE LOS SECTORES DE POZOS COLORADOS Y EL RÍO CÓRDOBA, CARIBE COLOMBIANO\***

*Javier Idárraga-García, Blanca O. Posada y Georgina Guzmán*

*Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Programa de Geociencias Marinas-GEO, Cerro Punta Betín, A.A. 1016, Santa Marta, Colombia. javier\_idarraga@invemar.org.co (J.I.G.), bposada@invemar.org.co (B.O.P.), gguzman@invemar.org.co (G.G.)*

## **RESUMEN**

Se llevó a cabo un estudio geomorfológico a escala 1:25000 de la zona costera adyacente al flanco occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) entre el sector de Pozos Colorados (en las afueras de Santa Marta) y el río Córdoba. Esta zona se caracteriza por presentar geoformas de diversos orígenes que son producto de procesos tectónicos, denudativos y sedimentarios fluviales. Desde este punto de vista se tienen Unidades de Origen Estructural-Denudativo, representadas por montañas y colinas de basamento ígneo y metamórfico; Unidades de Origen Fluvial, como abanicos aluviales y terrazas fluviales; y Unidades de Origen Marino, como llanuras costeras, plataformas de abrasión elevadas y playas antiguas y actuales. Las Unidades Estructurales-Denudativas corresponden al relieve más abrupto de la zona y son consecuencia de la interacción entre las características intrínsecas del tipo de roca que las conforman y la actividad tectónica del Sistema de Fallas de Santa Marta. Este efecto se refleja en el cambio abrupto de una topografía escarpada a un relieve plano, el cual está marcado por una plataforma de abrasión post-eocena (Mioceno tardío?) labrada en rocas del Batolito de Santa Marta que posteriormente fue levantada. Esta superficie erosiva está parcialmente cubierta por una serie de pequeños abanicos aluviales de poco espesor en afloramiento (menores a 3.5 m) compuestos por sedimentos tamaño arena media a gruesa provenientes de la parte montañosa del macizo de la SNSM. A partir de las relaciones estratigráficas entre la plataforma de abrasión elevada y los depósitos sedimentarios se propone que probablemente se produjo un levantamiento de este tramo del piedemonte occidental de la SNSM en el Plioceno o incluso en el Cuaternario a partir de movimientos inversos de la Falla de Santa Marta o de otras fallas paralelas no detectadas al occidente de ésta.

**PALABRAS CLAVE:** Geomorfología, Zona costera, Sierra Nevada de Santa Marta, Abanicos aluviales, Plataforma de abrasión elevada.

\* *Contribución No. 1074 del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR.*

## ABSTRACT

**Geomorphology of the coastal zone adjacent to the western foothills of Sierra Nevada de Santa Marta between Pozos Colorados and Córdoba River, Colombian Caribbean.** A geomorphologic study was carried out in the coastal zone adjacent to the western foothills of Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) between the area of Pozos Colorados (outside of Santa Marta) and Córdoba River. This zone is characterized by landforms of several origins that are the result of tectonic, denudative and fluvial processes. From this point of view there are units of structural-denudative origin, represented by igneous and metamorphic-basament mountains and hills; units of fluvial origin, as alluvial fans and fluvial terraces; and units of marine origin, like coastal plains, elevated wave-cut platforms, and ancient and recent beaches. The structural-denudative units correspond to the steepest relief of the zone and are a consequence of the intrinsic features of the rocks they are made of and the tectonic activity of the Santa Marta Fault System. This effect is reflected on the abrupt change from a steep topography to a flat relief, which is marked by a post-eocene (upper Miocene?) wave-cut platform made in the Batolith of Santa Marta rocks that was later uplifted; this erosive surface is partially covered by a series of alluvial fans made up of sand-sized sediments from the mountainous part of the SNSM. Based on stratigraphic relationships between the elevated wave-cut platform and the overlying sedimentary deposits, it is proposed that an uplifting of this sector of the western foothills of the SNSM was probably produced during Pliocene or even Quaternary as a consequence of inverse movements of the Santa Marta Fault or other parallel faults not detected to the west.

**KEY WORDS:** Geomorphology, Coastal zone, Sierra Nevada de Santa Marta, Alluvial fans, Elevated wave-cut platform.

## INTRODUCCIÓN

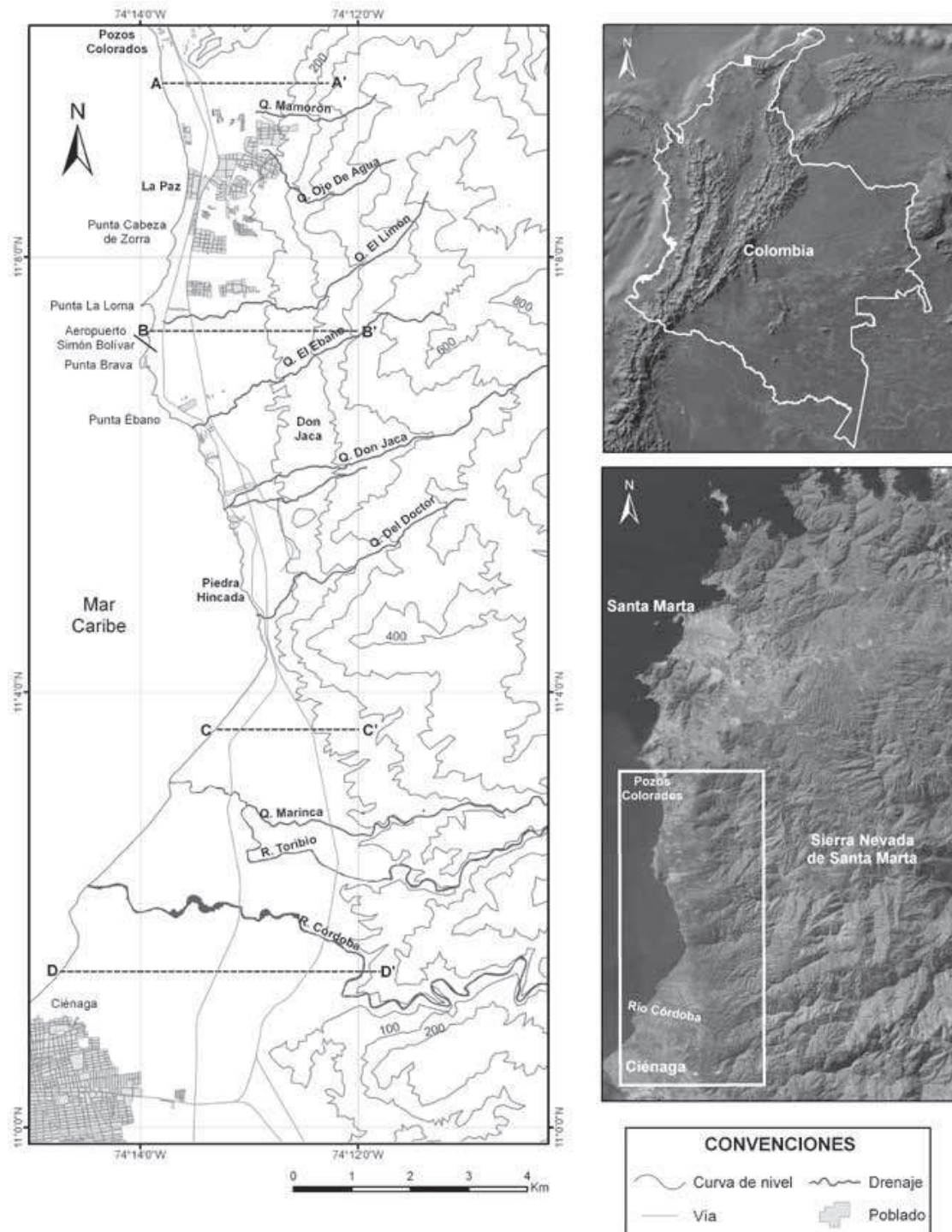
La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) es el relieve costero más alto de la Tierra cuya base triangular casi perfecta está limitada al norte por la Falla de Oca y al occidente por el Sistema de Fallas de Santa Marta (Tschanz *et al.*, 1969). La actividad tectónica reciente, las variaciones climáticas y los cambios relativos del nivel del mar ocurridos durante el Cuaternario (últimos 2.6 Ma) han sido claves en la evolución geológica y geomorfológica de este macizo. En este trabajo, mediante el análisis de aerofotografías y trabajo de campo, se describen las diferentes unidades geomorfológicas presentes en el sector comprendido entre Pozos Colorados y el río Córdoba con el fin de dar una primera aproximación a la evolución geológica y geomorfológica de esta porción del piedemonte occidental de la SNSM.

## ÁREA DE ESTUDIO

### Generalidades

La zona de estudio se encuentra localizada en la región Caribe colombiana y abarca la franja costera adyacente al piedemonte occidental de la SNSM al sur del casco urbano de la ciudad de Santa Marta (departamento del Magdalena), entre el

sector de Pozos Colorados al norte y el río Córdoba al sur (Figura 1); corresponde a las planchas topográficas IGAC 11-IV-C, 11-IV-D, 18-II-A y 18-II-B a escala 1:25000. La principal vía de acceso es la que comunica las ciudades de Santa Marta y Ciénaga, además de las innumerables vías secundarias que unen los poblados del sector como son Don Jaca, La Paz-Cristo Rey y Piedra Hincada.



**Figura 1.** Localización del área de estudio. Se indica la ubicación de los perfiles topográficos A-A', B-B', C-C' y D-D' mostrados en la Figura 7.

### **Fisiografía, clima y vegetación**

La zona de estudio se puede dividir en dos grandes dominios: uno en el sector oriental, que comprende la parte montañosa de la SNSM caracterizado por presentar una topografía abrupta y escarpada; el otro, al occidente, correspondiente a la planicie de depositación aluvial y marina. El primer sector exhibe un patrón de drenaje dendrítico muy denso, localmente con patrones paralelos a subparalelos; no obstante la alta densidad de drenaje, solo los ríos Toribio y Córdoba presentan flujo constante de agua a lo largo del año. En la parte más norte se presentan cauces con flujo intermitente como las quebradas Mamorón, Ojo de Agua, El Limón, El Ébano, Don Jaca, El Doctor y Marinca, que fluyen en dirección WSW y desembocan directamente en el mar Caribe (Figura 1).

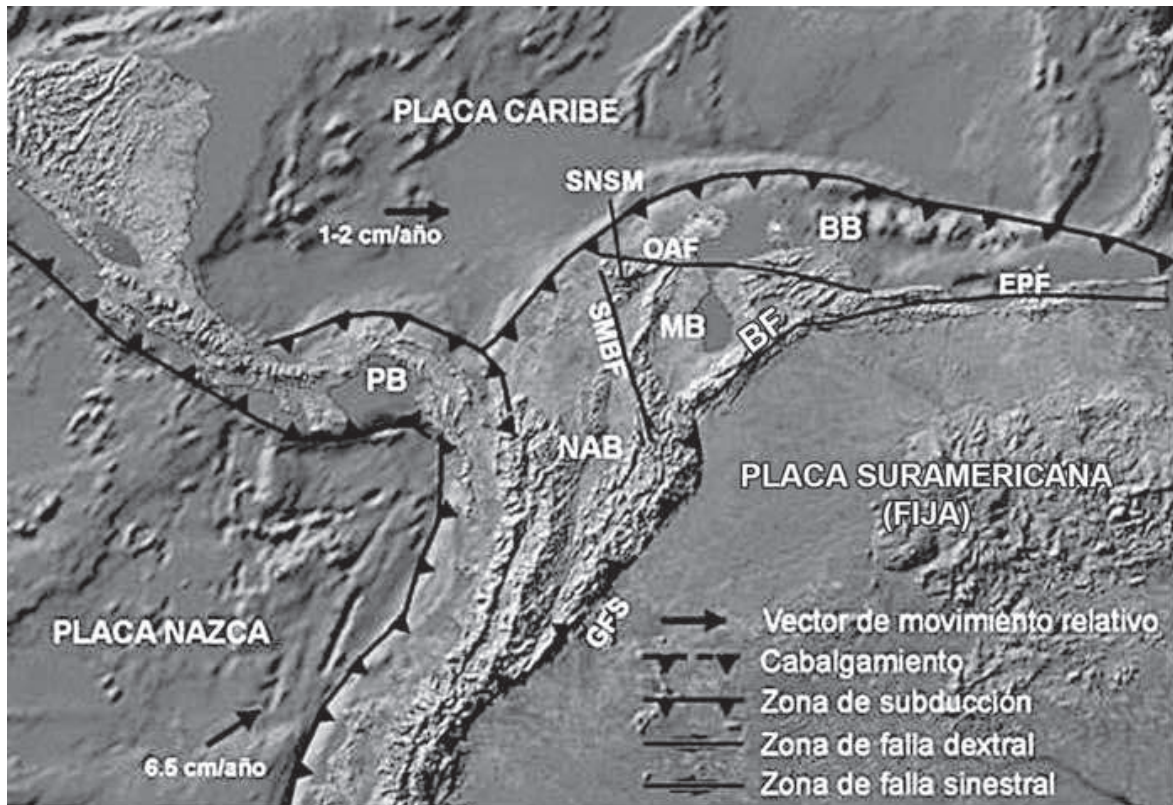
La temperatura promedio es de 28 °C, variando entre 29 °C en la época seca y 23 °C en la época lluviosa (Hernández, 2003) y la precipitación anual oscila entre 1000 y 2000 mm (IGAC, 1993). La distribución de lluvias se encuentra supeditada al paso anual de la ZCIT (Zona de Convergencia Intertropical) y a la presencia de la SNSM, teniéndose así dos temporadas de lluvia, la primera en parte de abril y mayo, y la segunda entre los meses de septiembre y noviembre (IGAC, 1993).

Según IGAC (1993), las formaciones vegetales en la zona de estudio están compuestas por bosque muy seco tropical entre los 0 a 500 msnm con temperaturas mayores a 24 °C, donde la mayor parte de la vegetación pierde su follaje en el período de sequía. En la franja costera de los alrededores de Santa Marta, la vegetación se caracteriza por cactus columnares, árboles y arbustos caduciformes típicos de la formación vegetal monte espinoso subtropical (IGAC, 1993; Hernández, 2003).

### **Marco geotectónico regional**

La esquina noroccidental de Suramérica presenta una configuración tectónica muy compleja debido a la interacción entre la placa continental Suramericana y la placas oceánicas Caribe y Nazca (Taboada *et al.*, 2000; Audemard y Audemard, 2002; Trenkamp *et al.*, 2002; Cortés y Angelier, 2005), cuyos regímenes de esfuerzos resultantes están acomodados entre una serie de bloques tectónicos discretos o microplacas (Audemard *et al.*, 2005) (Figura 2). Entre estas microplacas se encuentra el Bloque Maracaibo (Audemard *et al.*, 2005), el cual está limitado en Colombia por la Falla de Santa Marta-Bucaramanga de carácter sinistral y en Venezuela por la Falla Boconó de carácter dextral, y está separado del Bloque Bonaire al norte por medio de la Falla de Oca-Ancón (Audemard *et al.*, 2005) (Figura 2). Estos dos bloques están siendo desplazados hacia el norte debido al choque y posterior sutura del Bloque Panamá contra el borde pacífico del norte de Suramérica (Audemard *et al.*, 2005), lo cual ha sido confirmado por estudios de movimientos de placas a partir de GPS (Kellogg y Vega, 1995; Trenkamp *et al.*, 2002).





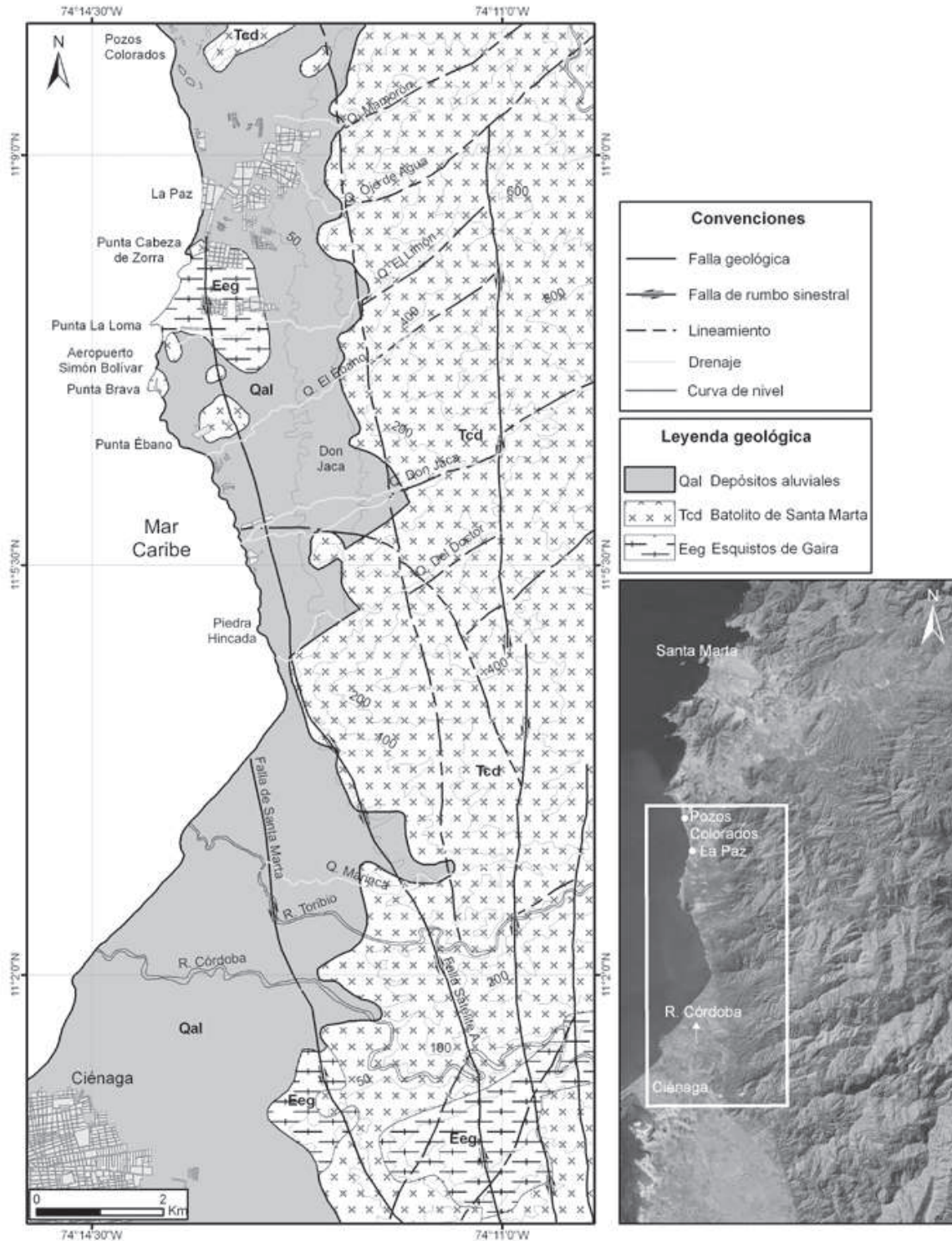
**Figura 2.** Configuración geotectónica de la esquina noroccidental de Suramérica (modificada de Audemard y Audemard, 2002). BB: Bloque Bonaire, MB: Bloque Maracaibo, NAB: Bloque Norandino, PB: Bloque Panamá, BF: Falla de Boconó, EPF: Falla El Pilar, GFS: Sistema de Fallas de Guaicáramo, SMBF: Falla Santa Marta-Bucaramanga, OAF: Falla de Oca, SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta.

## Geología

En la zona objeto de estudio afloran rocas ígneas intrusivas y metamórficas de edad paleógena y depósitos fluviales plio-cuaternarios (Figura 3).

### Rocas ígneas

Las rocas ígneas están representadas en la zona de estudio por el Batolito de Santa Marta, el cual está conformado por cuerpos de tonalitas biotíticas-hornbléndicas y tonalitas hornbléndicas-biotíticas principalmente; ocasionalmente afloran dioritas, granodioritas y granitos; la edad de este batolito ha sido calculada entre  $48.8 \pm 1.7$  Ma y  $44.1 \pm 1.6$  Ma (Tschanz *et al.*, 1969) por medio del método potasio-argón (K/Ar), el cual se basa en el decaimiento radioactivo natural del isótopo  $^{40}\text{K}$  para producir el isótopo  $^{40}\text{Ar}$  (Aldrich y Nier, 1948; Renne, 2000). Este cuerpo presenta contactos intrusivos con los Esquistos de Gaira, aunque localmente se reconocen contactos fallados entre estas dos unidades. En la zona de estudio aflora como un cinturón continuo dominando la parte montañosa del piedemonte occidental de la SNSM.



**Figura 3.** Mapa geológico de la zona comprendida entre Pozos Colorados y el río Córdoba en el piedemonte occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta. Modificado de Tschanz *et al.* (1969).

### Rocas metamórficas

Este tipo de rocas están representadas por los denominados Esquistos de Gaira, los cuales están conformados por una serie de esquistos anfibólicos, esquistos micáceos, esquistos cuarzomicáceos, anfibolitas y menos comúnmente esquistos

grafitosos, esquistos cloríticos, cuarcitas, mármoles y neises. La edad mínima de metamorfismo para estas rocas, determinada por medio del método K/Ar (Aldrich y Nier, 1948; Renne, 2000), es de  $50.3 \pm 8.1$  Ma (Tschanz *et al.*, 1969). En la zona de estudio los afloramientos de esta unidad se localizan en el sector de La Paz y en los alrededores del río Córdoba.

### **Depósitos aluviales**

Se trata de aluviones recientes no consolidados compuestos por arenas, gravas y guijarros, mal seleccionados y con fragmentos de plagioclasa, mica biotita, cuarzo y cantos de las rocas del Batolito de Santa Marta (Tschanz *et al.*, 1969). Se localizan en la parte occidental de la zona de estudio y proceden de la parte montañosa de la SNSM formando pequeños abanicos y terrazas fluviales.

Desde el punto de vista estructural, la zona de estudio se encuentra afectada por el Sistema de Fallas de Santa Marta, el cual limita el piedemonte occidental de la SNSM por más de 110 Km. De acuerdo con Idárraga-García y Romero (2010), este sistema está constituido por un arreglo de trazas paralelas a subparalelas con orientación general NNW, las cuales tienen asociadas una serie de desplazamientos de drenajes que indican una componente lateral izquierda. Por otro lado, se presentan estructuras compresivas como fallas inversas y anticlinales orientados al NE, y estructuras extensionales como fallas normales con tendencia NW que son consistentes con una zona de cizalla sinistral con orientación general NNW.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El análisis geomorfológico se llevó a cabo a partir de la interpretación de fotografías aéreas (Tabla 1) con el fin de determinar las diferentes geoformas y estructuras presentes en el terreno y definir las correspondientes unidades geomorfológicas, utilizando para esto una modificación de la clasificación de las geoformas propuesta por Van Zuidam (1985). Esta clasificación para cartografía semidetallada reconoce seis tipos de unidades geomorfológicas: unidades de origen denudativo, unidades de origen estructural-denudativo, unidades de origen fluvial o aluvial, unidades de origen marino, unidades de origen eólico y unidades de origen kárstico. En esta fase se obtuvo un mapa fotogeomorfológico preliminar. Posteriormente se hizo la comprobación en campo de este primer mapa, determinando el tipo de material involucrado en cada unidad geomorfológica, caracterizando las pendientes de las geoformas en el terreno y describiendo los procesos geomórficos actuales, para obtener así el mapa geomorfológico final a escala 1:25000. Adicionalmente en algunas localidades se midieron columnas estratigráficas de los depósitos sedimentarios recientes y se tomaron



muestras sedimentológicas de la fracción arena para determinar su composición bajo el microscopio siguiendo la metodología de Folk (1974), con el fin de establecer la relación depósito-área fuente. Por último, con los datos obtenidos en este estudio y la información secundaria disponible, se hizo una interpretación de la evolución geológica y geomorfológica de la zona.

**Tabla 1.** Fotografías aéreas utilizadas en el análisis geomorfológico de la zona de estudio.

Vuelo	Fotografías	Año	Escala	Localidad
IGAC M15	1241-1260	1954	1:60000	Ciénaga-El Difícil
IGAC C2306	60-67	1987	1:36400	Ciénaga-Fundación
IGAC C2685	107-115	2004	1:44200	Santa Marta-Q. La Aguja

## RESULTADOS

### Geomorfología

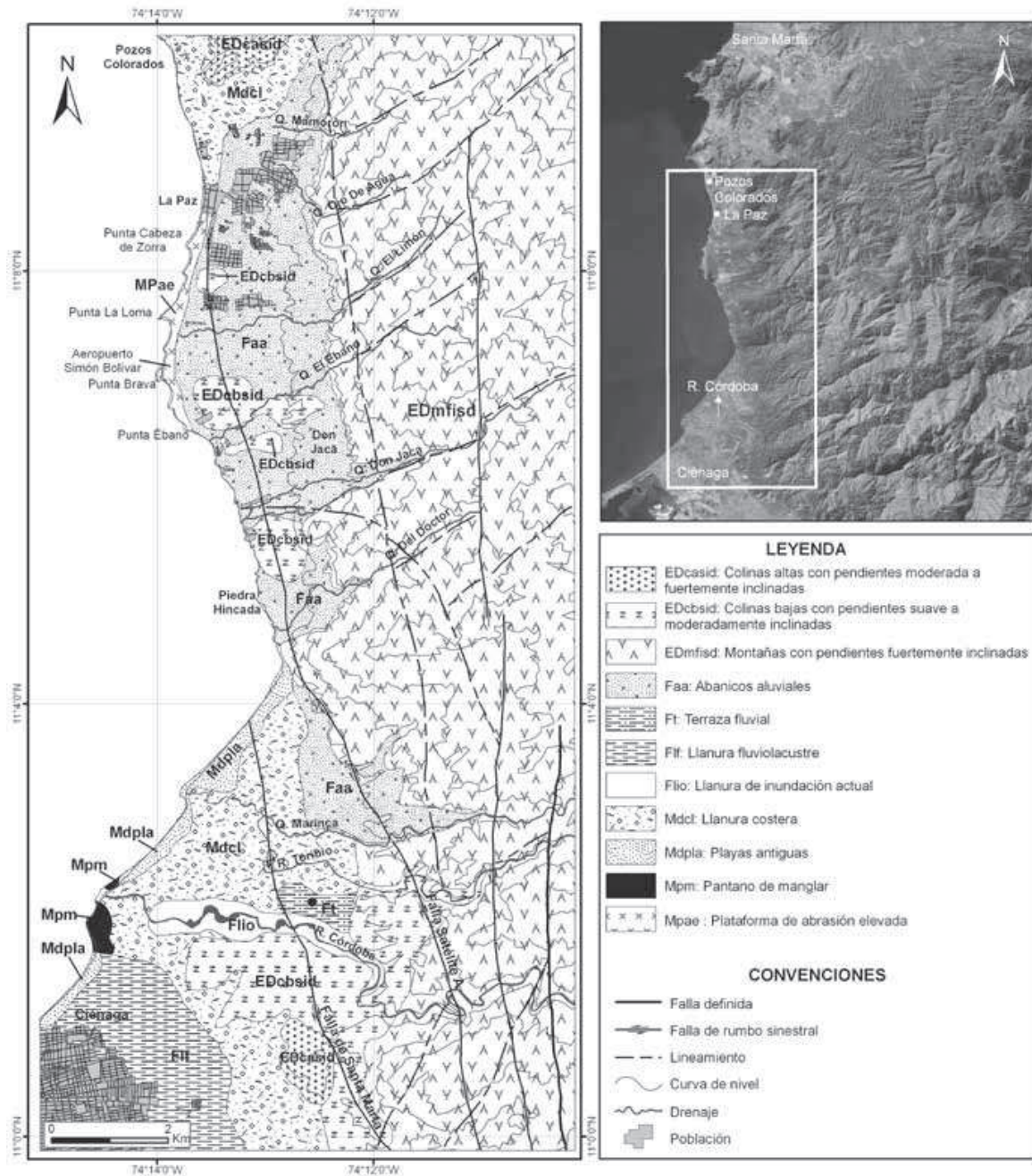
Se determinaron 11 unidades geomorfológicas en la zona de estudio (Figura 4), agrupadas en tres clases según su origen.

#### Unidades geomorfológicas de origen estructural-denudativo

Producidas por la interacción de los procesos de denudación (meteorización y erosión) con la estructura intrínseca de la roca (foliación y/o fracturamiento). En la zona de estudio se tienen cuatro subclases diferenciadas básicamente a partir de la altura y del ángulo de la pendiente de las geoformas (Figura 4).

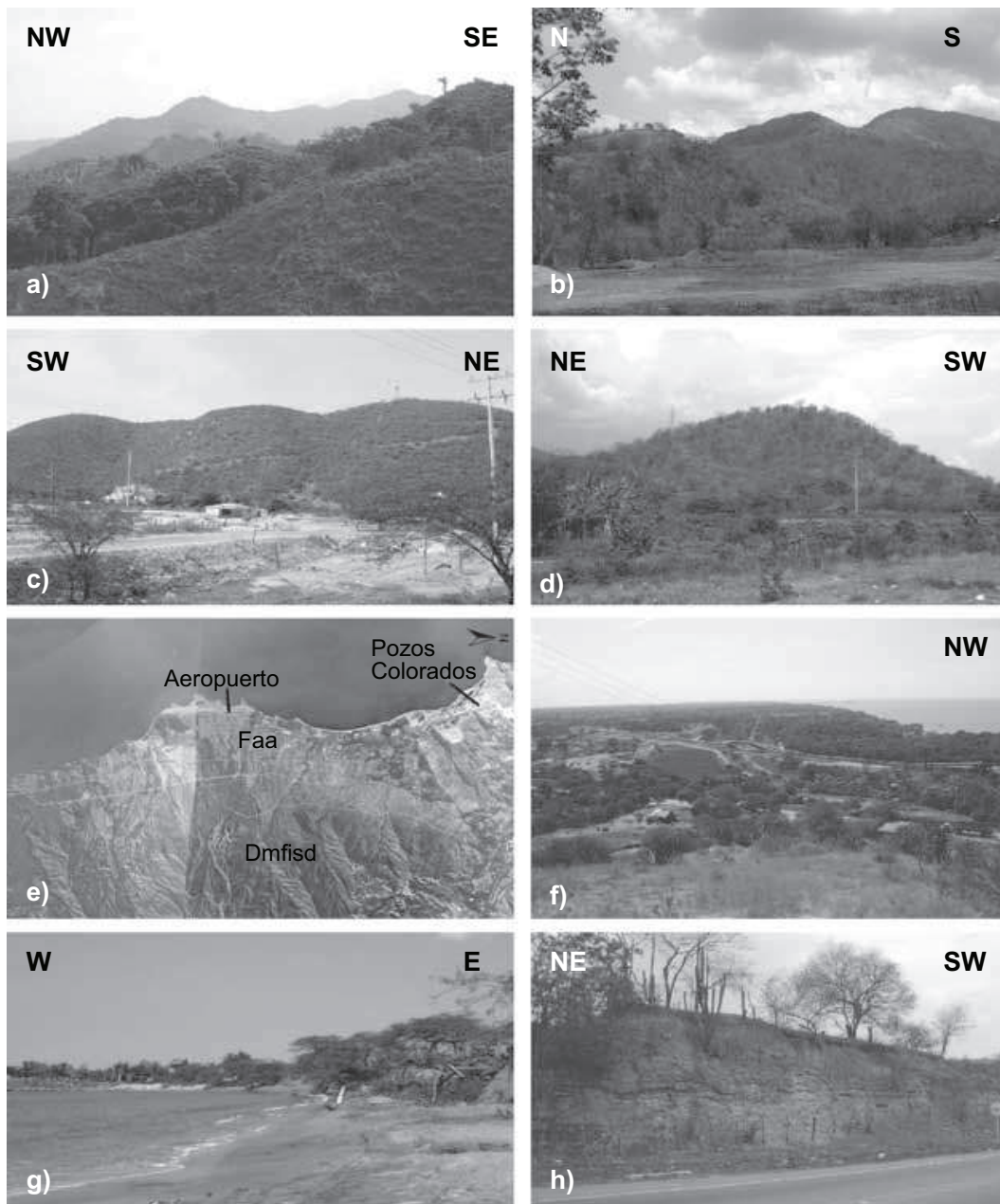
**Montañas con pendientes fuertemente inclinadas (EDmfisd).** Corresponde al relieve más abrupto de la zona de estudio que alcanza alturas hasta de 800 m. Presenta un patrón de drenaje paralelo a subdendrítico muy denso y de disección alta desarrollado en valles rectilíneos, profundos y simétricos. Las crestas de las montañas son sinuosas y levemente redondeadas; las vertientes son complejas (es decir, con formas cóncavas y convexas), largas (entre 700 y 2400 m de longitud) y de pendientes fuertes (valores entre 20 y 30°) (Figuras 5a y b), siendo común la presencia de grandes escarpes, en ocasiones formando facetas triangulares. Esta unidad se encuentra dominando la parte oriental de la zona de estudio como un cinturón continuo (Figura 4) compuesto por rocas ígneas intrusivas de composición granodiorítica a diorítica del Batolito de Santa Marta de edad eocena (Tschanz *et al.*, 1969), las cuales presentan como característica la poca meteorización y un desarrollo de suelo muy incipiente.





**Figura 4.** Mapa geomorfológico de la zona comprendida entre Pozos Colorados y el río Córdoba en el piedemonte occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta.

**Colinas altas con pendientes moderadas a fuertemente inclinadas (EDcasid).** Son geoformas que no sobrepasan 125 m de altura. Su principal característica es la presencia de crestas redondeadas y vertientes convexas de pendientes moderadas a fuertes (entre  $10^\circ$  y  $20^\circ$ ) (Figura 5c). El patrón de drenaje es subdendrítico, con tributarios de poca longitud en valles amplios de geometría cóncava. Esta unidad se encuentra localizada en el sector de Pozos Colorados (al norte de la zona de estudio) y en el sector del río Córdoba (al sur de la misma) (Figura 4) y está conformada por rocas ígneas del Batolito de Santa Marta de edad eocena (Tschanz *et al.*, 1969).



**Figura 5.** a) y b) Montañas con pendientes fuertemente inclinadas con vertientes largas y pendientes empinadas. Sector del río Córdoba. c) Colinas altas con pendientes moderada a fuertemente inclinadas con vertientes cortas, convexas y pendientes empinadas. Sector de Pozos Colorados. d) Colinas bajas con pendientes suave a moderadamente inclinadas de crestas redondeadas. Sector del río Córdoba. e) Fotografía aérea donde se observan los abanicos aluviales (Faa) del sector del aeropuerto y el contraste topográfico con la parte montañosa (Dmfsid). f) Llanura costera del sector río Córdoba-Piedra Hincada. g) Playas cortas y curvilíneas en el sector del Aeropuerto. h) Vista general de la terraza fluvial del sector del río Córdoba.

#### **Colinas bajas con pendientes suaves a moderadamente inclinadas (EDcbsid).**

Estas geoformas no sobrepasan los 50 m de altura. Presentan crestas redondeadas y sinuosas; sus laderas son rectilíneas con pendientes moderadamente inclinadas (entre 5 y 10°) (Figura 5d). El patrón de drenaje es subdendrítico a angular en el sector del río Córdoba, con tributarios cortos en valles de fondo cóncavo. En algunos sectores estas

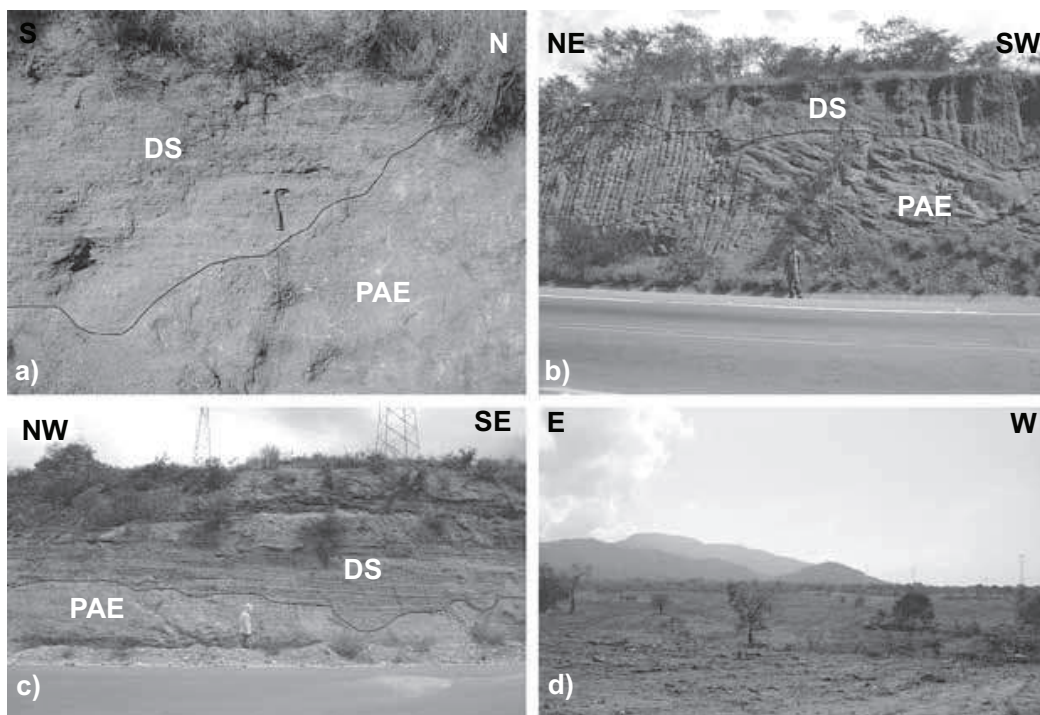
colinas se encuentran desprovistas de suelo (sector Pozos Colorados-Piedra Hincada y sector del río Córdoba, cerca de los termales), mientras que en otros se observan con una cobertura de suelo que no excede los 80 cm. (sector de la quebrada Marinca). Por otro lado, entre Pozos Colorados y Piedra Hincada, las depresiones entre las colinas se encuentran colmatadas por un material sedimentario detrítico de tamaño arena media a gruesa; en algunas localidades, este material se encuentra cubriendo totalmente el relieve, observándose claramente una paleotopografía colinada. Estas colinas corresponden a remanentes de rocas ígneas intrusivas del Batolito de Santa Marta (Tschanz *et al.*, 1969).

### **Unidades geomorfológicas de origen fluvial**

**Abanicos aluviales (Faa).** Pequeños abanicos aluviales se presentan a lo largo de todo el piedemonte de la SNSM en la zona de estudio. En la parte más norte, entre Pozos Colorados y Piedra Hincada, se pueden diferenciar cinco lóbulos que se interdigitan unos con otros formando de esta manera un cuerpo continuo de aproximadamente 9 Km de ancho (en dirección N-S) y no más de 5 Km de longitud en su eje mayor asociados a las quebradas Ojo de Agua, El Limón, Ébano, Don Jaca y Del Doctor (Figuras 4 y 5e). Estos abanicos presentan un patrón de drenaje subparalelo de poca densidad (es decir, corrientes y tributarios con disposición casi paralela), grados de disección bajos y una alta intervención antropogénica (construcciones civiles y cultivos principalmente). Su expresión topográfica corresponde a un relieve suave a plano, con ondulaciones de terreno muy incipientes que no exceden los 5 m de altura, que es producto de la depositación de materiales provenientes de la parte montañosa de la SNSM. Dichos depósitos exhiben poco espesor en superficie (<3.5 m) y están compuestos por arenas gruesas con laminación plana paralela discontinua y algunas intercalaciones milimétricas a centimétricas de lodos y arenas finas-medias con laminación cruzada. Es característico de estas arenas estar libres de arcilla y desprovistas de cemento, presentando por lo tanto muy poca compactación. A lo largo de la zona de estudio estos abanicos se encuentran cubriendo una plataforma de abrasión elevada labrada en rocas del Batolito de Santa Marta, definiendo una superficie de inconformidad (*nonconformity*; superficie erosiva que trunca rocas ígneas o metamórficas y que está cubierta por sedimento; Prothero y Schwab, 1996) (Figuras 6a y b).

**Terraza fluvial (Ft).** Esta unidad corresponde a una superficie plana con leve inclinación hacia el mar. Se presenta como un parche aislado de muy poca extensión que alcanza una altura de 60 msnm aproximadamente. Se encuentra limitada hacia el continente por colinas de basamento ígneo y hacia el mar por una llanura costera, que la separa de éste 2.2 Km. Está constituida en su base por alternancias de limos y arenas finas muy bien seleccionadas, con algunos niveles subordinados de arcillas, en capas finas horizontales; hacia el techo predominan sedimentos más gruesos como arenas medias y gravas pobremente seleccionadas (Figura 5h). Esta terraza se encuentra ubicada entre los ríos Toribio y Córdoba en los alrededores de Brisas del Mar cubriendo una plataforma de abrasión elevada (Figuras 4 y 6c).





**Figura 6.** a-c) Inconformidad entre la plataforma de abrasión elevada (PAE) labrada en rocas del Batolito de Santa Marta y depósitos sedimentarios no consolidados (DS) en los sectores de Piedra Hincada y del río Córdoba. d) Vista general de la plataforma de abrasión elevada en el sector de la quebrada El Ébano, donde se observa su leve inclinación al occidente y la presencia de montículos que no sobrepasan los 3 m de altura.

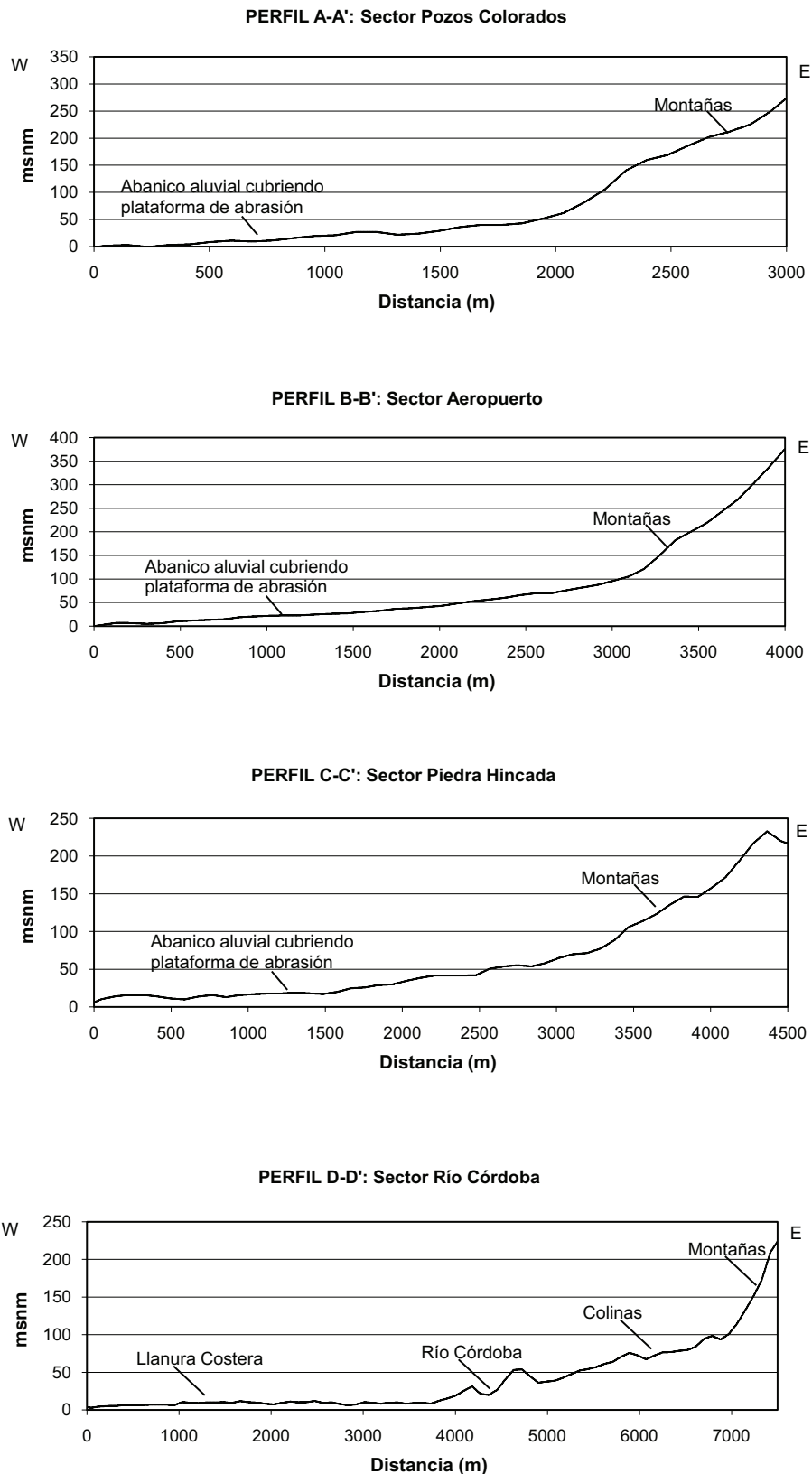
**Llanura de inundación actual (Flio).** Unidad correspondiente a las llanuras de inundación actuales y topográficamente más bajas de las principales corrientes fluviales. Se encuentran asociadas a los principales drenajes de la zona de estudio, pero la única cartografiable a la escala de trabajo es la del río Córdoba (Figura 4).

### Unidades geomorfológicas de origen costero

Se agrupan en esta clase las unidades geomorfológicas cuyo origen está relacionado con procesos continentales de erosión y sedimentación con influencia menor de procesos marinos.

**Llanura costera (Mdcl).** Es una unidad de relieve muy plano con pendientes menores a  $5^\circ$ . En la zona de estudio se presenta en dos sectores (Figura 4): el primero se extiende desde el sector de La Paz hacia el norte como una franja estrecha paralela a la costa, con una amplitud promedio de 400 m, que alcanza aproximadamente 2 Km en Pozos Colorados. Está limitado hacia el mar por playas y hacia el continente por abanicos aluviales. El otro sector donde se presenta es entre Piedra Hincada y el río Córdoba (Figura 5f), alcanzando amplitudes de 3.6 Km, limitada hacia el continente por abanicos aluviales y por relieves bajos (colinas) asociados a rocas ígneas (ver perfil D-D' en la Figura 7). Esta unidad está conformada por depósitos fluviolacustres, coluviales y de llanuras de inundación antiguas de posible edad plio-cuaternaria.





**Figura 7.** Perfiles topográficos a lo largo de la zona de estudio que muestran el contraste topográfico entre el relieve de montañas al oriente (E) y una superficie plana e inclinada al occidente (W). En los perfiles A-A', B-B' y C-C' la superficie corresponde a una plataforma de abrasión elevada de edad post-eocena. El contraste morfológico entre estas dos geoformas (montañas y plataforma) está suavizado por la presencia de depósitos asociados a pequeños abanicos aluviales. En el perfil D-D' el límite entre las montañas y la llanura costera está marcado por la presencia de pequeñas colinas. Ver Figura 1 para localización de los perfiles.

**Llanura fluviolacustre (Flf).** Esta unidad está conformada por los depósitos de origen aluvial y lacustre que se encuentran en la zona de transición entre la Ciénaga Grande de Santa Marta y la llanura costera. Se caracteriza por ser una zona muy plana con depresiones someras donde se concentra gran cantidad de humedad y vegetación, debido a inundaciones marinas y fluviales. El drenaje no está bien desarrollado y sólo se pueden distinguir algunos cauces de ríos y quebradas. Es muy común la presencia de pantanos y zonas anegadas de diferentes extensiones. Se localiza en cercanías del municipio de Ciénaga, al sur del río Córdoba (Figura 4).

**Pantanos de manglar (Mpm).** Los pantanos de manglar corresponden a las zonas cenagosas adyacentes al mar, que se encuentran colonizadas por manglares y otro tipo de plantas halófitas adaptadas a suelos anaeróbicos y salinos; estos suelos están conformados por limos y arcillas ricos en materia orgánica (Ingeominas, 1998). En la zona de estudio sólo se encuentran dos zonas con manglares, ambas asociadas a la desembocadura del río Córdoba (Figura 4) y se diferencian en las fotografías aéreas por su tono oscuro y su ubicación a lo largo de las orillas de los ríos en zonas aledañas al mar.

### **Unidades geomorfológicas de origen marino**

Se agrupan en esta clase las unidades geomorfológicas cuyo origen está relacionado con procesos marinos de erosión y sedimentación.

**Plataforma de abrasión elevada (Mpa).** Superficie suavemente ondulada a colinada, levemente inclinada al occidente con pendientes entre 2 y 5° (Figura 6). Tiene una longitud de 12 Km aproximadamente y una amplitud que varía entre 0.8 Km (sector de Piedra Hincada) y 2.6 Km (sector Aeropuerto Simón Bolívar); presenta un grado de disección moderado por lo cual su topografía es colinada con la presencia de pequeñas colinas que no sobrepasan 10 m de altura (Figura 6d). Esta superficie de erosión labrada en rocas del Batolito de Santa Marta se encuentra cubierta por una serie de depósitos sedimentarios no consolidados (ver perfiles topográficos A-A', B-B' y C-C' de la Figura 7) asociados a los abanicos de las quebradas Mamorón, Ojo de Agua, El Limón, El Ébano, Don Jaca, Del Doctor y Marinca, marcando una inconformidad (*unconformity*). En el sector comprendido entre Punta Ébano y La Paz esta plataforma se extiende como una franja alargada y estrecha (Figura 4) asociada a acantilados que alcanzan alturas hasta de 7 m.

**Playas antiguas (Mdpla).** La unidad de playas antiguas corresponde a zonas de material no consolidado ubicado detrás (hacia el continente) de las playas actuales y que en la actualidad pueden estar o no vegetadas y/o intervenidas por el hombre (Ingeominas, 1998). En la zona de estudio se restringen a un sector desde el sur de Piedra Hincada hasta el extremo oriental del municipio de Ciénaga (Figura 4). Allí estas geoformas presentan amplitudes hasta de 200 m, dispuestas como cordones litorales

que reflejan posiciones antiguas de la línea de costa, cuya posición actual puede ser el resultado de un descenso en el nivel del mar o de un levantamiento tectónico.

Adicionalmente a las unidades anteriormente descritas se presentan a lo largo de toda la zona de estudio playas que por su tamaño no fueron cartografiadas a la escala de trabajo. Son de arena media a fina con longitudes variables, amplitudes máximas de 55 m y pendientes entre 6 y 10°. En el sector entre Piedra Hincada y Punta Ébano las playas presentan una tendencia rectilínea con orientación general NNO, mientras que en el sector del Aeropuerto Simón Bolívar se tienen segmentos de playa cortos y curvilíneos ubicados entre las salientes rocosas (Figura 5g). En algunos sitios entre Piedra Hincada y Pozos Colorados las playas se ubican al pie de los acantilados labrados en rocas del Batolito de Santa Marta.

## DISCUSIÓN

Como fue descrito anteriormente, en la zona de estudio se presentan unidades geomorfológicas de diversos orígenes, las cuales son producto de la interacción de procesos geológicos, climáticos, antropogénicos y bióticos. Dentro de los primeros, los factores tectónicos cobran especial importancia como modeladores del paisaje costero en la zona de estudio. Trabajos recientes corroboran que el piedemonte occidental de la SNSM está controlado por el Sistema de Fallas de Santa Marta (Idárraga-García, 2008; Idárraga-García y Romero, 2010), el cual presenta claras evidencias de ser un sistema activo: rasgos geomorfológicos como silletas de falla, cambios altimétricos, cuchillas y valles lineares, drenajes desplazados y corrientes meándricas encajadas que están bien preservadas en rocas del basamento cristalino corroboran el carácter reciente de dicha actividad.

En la zona de estudio, el piedemonte occidental de la SNSM está marcado por un cambio abrupto en la topografía entre un relieve escarpado de montañas y una plataforma de abrasión elevada labrada en rocas del Batolito de Santa Marta; esta superficie se encuentra cubierta por depósitos sedimentarios no consolidados de espesores inferiores a 3.5 m. Teniendo en cuenta que el Batolito de Santa Marta ha sido datado entre  $48.8 \pm 1.7$  y  $44.1 \pm 1.6$  Ma por el método K/Ar (Tschanz *et al.*, 1969), la plataforma labrada por erosión del oleaje es de edad post-eocena, probablemente en el Mioceno superior, cuando la SNSM fue erodada a una penillanura presumiblemente cerca del nivel del mar después del primer levantamiento del Terciario (Tschanz *et al.*, 1969).

Posteriormente se presentó el levantamiento de la plataforma, quedando completamente expuesta a una erosión sectorizada y canalizada por medio de corrientes fluviales, la cual le imprimió el carácter topográfico colinado que se puede apreciar actualmente en algunos sitios a lo largo de la zona de estudio. Esta

red de drenaje fue probablemente el medio de depositación de los sedimentos que conforman los abanicos aluviales y las terrazas fluviales: intercalaciones de arenas gruesas y medias muy pobremente seleccionadas con laminación inclinada y plana paralela mal desarrolladas. La composición de la fracción arena de estos sedimentos es de tipo arcosa (es decir, está compuesta mayormente por feldespatos y, en menor proporción, por cuarzo y fragmentos líticos) según la clasificación de Folk (1964) (Idárraga-García, 2008). Esta composición mineralógica es indicativa de un área fuente rica en este tipo de minerales, lo cual es concordante con la presencia de las rocas ígneas graníticas (compuestas por feldespato y cuarzo) pertenecientes al Batolito de Santa Marta a lo largo y ancho de todo el frente montañoso occidental de la SNSM. Estas características sumadas a la marcada ausencia de cemento y matriz arcillosa indican un clima árido con régimen torrencial en el momento de la formación de estos depósitos, condiciones que, según Bartels (1984), imperaron en la formación de las terrazas cuaternarias asociadas al piedemonte occidental de la SNSM. De acuerdo con Bartels (1984), datos recolectados por Van der Hammen (1974) en Colombia, Venezuela y Brasil confirman la existencia de un período bastante árido entre aproximadamente 21000 y 13000 A.P., desafortunadamente a la fecha no se cuenta con dataciones de estas terrazas y abanicos que corroboren o descarten que se hayan depositado en este intervalo de tiempo.

De acuerdo con lo anterior, la edad del levantamiento de la plataforma de abrasión es probablemente pliocena o incluso cuaternaria, y pudo haber estado relacionada a movimientos de carácter inverso con vergencia al occidente de la Falla de Santa Marta, o de otras fallas submarinas no detectadas al occidente que se encuentran controlando este tramo del litoral, como lo sugiere la linealidad y orientación al NNO (paralela al sistema de fallas) de la línea de costa entre el sector de Piedra Hincada y Punta Ébano (ver Figuras 3 y 4). Obviamente, esta hipótesis debe ser confirmada por nuevos datos, principalmente de tipo estratigráfico y geocronológico, de los depósitos sedimentarios que se encuentran suprayaciendo la plataforma de abrasión y de otras geoformas, como por ejemplo, los cordones litorales que se encuentran entre Piedra Hincada y el extremo oriental de Ciénaga, los cuales podrían estar evidenciando un levantamiento tectónico más reciente de este sector del piedemonte occidental de la SNSM.

## CONCLUSIONES

El análisis geomorfológico llevado a cabo en este estudio permitió reconocer y cartografiar unidades de diferentes orígenes en la zona costera adyacente al piedemonte occidental de la SNSM entre Pozos Colorados y el río Córdoba. Es



claro que uno de los factores más importantes en la evolución geomorfológica de la zona objeto de estudio es la actividad tectónica reciente, la cual está registrada por la presencia de una plataforma de abrasión elevada cubierta por depósitos sedimentarios de origen fluvial. La edad de este levantamiento es probablemente pliocena e incluso cuaternaria e implica que este tramo del piedemonte occidental de la SNSM, controlado por el Sistema de Fallas de Santa Marta, es tectónicamente activo y merece ser objeto de estudios interdisciplinarios más detallados que conlleven, por un lado, a fortalecer el conocimiento de la evolución geohistórica del macizo y sus áreas adyacentes y, por el otro, a avanzar en la caracterización de fallas activas como posibles fuentes sismogénicas en el Caribe colombiano.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio forma parte del proyecto “Evolución geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM)” llevado a cabo por el Instituto Colombiano de Geología y Minería-Ingeominas, la Empresa Colombiana de Petróleos-Ecopetrol (ICP) y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR. Gracias a estas instituciones por el apoyo financiero y logístico. Los autores quieren agradecer especialmente al equipo de trabajo del Programa de Geociencias Marinas-GEO del INVEMAR por toda la ayuda logística en las diferentes fases de esta investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aldrich, L. T. y A. O. Nier. 1948. Argon 40 in potassium minerals. *Phys. Rev.*, 74: 876-877.
- Audemard, F. y F. Audemard. 2002. Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics*, 345: 299-327.
- Audemard, F. A., G. Romero, H. Rendón y V. Cano. 2005. Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions. *Earth Sci. Reviews*, 69 (3-4): 181-233.
- Bartels, G. 1984. Los pisos morfoclimáticos de la Sierra Nevada de Santa Marta. 99-129. En: Van der Hammen, T. y P. M. Ruiz (Eds.). *Estudios de ecosistemas tropandinos: La Sierra Nevada de Santa Marta*, Vol. 2. Berlín. 601 p.
- Cortés, M. y J. Angelier. 2005. Paleostress evolution of the northern Andes (Eastern Cordillera of Colombia): Implications on plate kinematics of the South Caribbean region. *Tectonics*, 24: 1-27.
- Folk, R. L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, EE.UU. 184 p.
- Hernández, M. 2003. *Geología de las planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga*, escala 1:100.000. Memoria explicativa. Ingeominas, Bogotá. 92 p.
- Idárraga-García, J. 2008. *Actividad neotectónica en tres sectores del Sistema de Fallas de Santa Marta, piedemonte occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta*. Tesis M.Sc. Universidad EAFIT, Medellín. 160 p.



- Idárraga-García, J. y J. Romero. 2010. Neotectonic study of the Santa Marta Fault System, western foothills of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *J. South Am. Earth Sci.*, 29: 849-860.
- IGAC, 1993. Magdalena: características geográficas. Subdirección de Geografía, División de Estudios Geográficos Básicos, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá. 147 p.
- Ingeominas, 1998. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe colombiano. *Publ. Geol. Espec.*, 21: 1-114.
- Kellogg, J. y V. Vega. 1995. Tectonic development of Panama, Costa Rica and the Colombian Andes: Constraints from Global Positioning System geodetic studies and gravity. *GSA Bull. Spec. Pap.*, 295: 75-89.
- Prothero, D. y F. Schwab. 1996. *Sedimentary geology. An introduction to sedimentary rocks and stratigraphy.* W.H. Freeman, Nueva York. 575 p.
- Renne, P. R. 2000. K-Ar and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating. En: Stratton, J., J. Sowers y W. Lettis (Eds.). *Quaternary geochronology. Methods and applications.* American Geophysical Union, Washington. 582 p.
- Taboada, A., L. A. Rivera, A. Fuenzalida, A. Cisternas, H. Philip, H. Bijwaard, J. Olaya y C. Rivera. 2000. *Geodynamics of the Northern Andes: Subductions and intra continental deformation (Colombia).* Publicación especial de la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS), Bogotá. 28 p.
- Trenkamp, R., J. Kellogg, J. Freymueller y H. Mora. 2002. Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *J. South Am. Earth Sci.*, 15: 157-171.
- Tschanz, C., A. Jimeno y C. Vesga. 1969. *Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta Area (Colombia).* Informe 1829, Ingeominas, Bogotá. 288 p.
- Van der Hammen, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *J. Biogeogr.*, 1: 3-26.
- Van Zuidam, R. 1985. *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping.* Smith Publishers, La Haya, Holanda. 442 p.

FECHA DE RECEPCIÓN: 22/09/2008

FECHA DE ACEPTACIÓN:13/01/2011