



ARTÍCULO

Rasgos de levantamiento de la margen continental a partir del oligoceno: contribución al conocimiento del Noreste Colombiano

Upwelling signs at the continental margins starting from the oligocene: contribution to knowledge of Northeastern Colombia

Fecha recepción: 2006-06-05 / Fecha aceptación: 2006-07-14

Camilo Iván Ordóñez Aristizábal

E-mail: geozco@cioh.org.co

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH,
Isla Manzanillo, Cartagena de Indias D.T. y C.

Resumen

Con base en el estudio geomorfológico de la zona costera del Departamento de La Guajira Colombia, se describieron indicios de levantamiento activo relacionados con la Falla de Oca, en la margen continental del Norte suramericano. La falla limita por el Norte el bloque estructural triangular que conforma la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). Los resultados que se presentan en este trabajo, son relevantes para la Dirección General Marítima y su Centro de Investigaciones, por constituir un sustento científico para el análisis de amenaza por erosión, como factores condicionantes de las labores administrativas en las áreas bajo jurisdicción de la autoridad marítima en las zonas costeras del Caribe colombiano.

La cartografía a escalas 1:25000 y 1:50000, generada en el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), aportó mayores detalles con respecto a la de otros estudios similares, al delimitar las unidades geomorfológicas superficiales y litológicas cuaternarias (menos de 1.75 millones de años). Se ilustra la posible relación existente entre: a) la presencia de la SNSM y la reciente actividad de la Falla de Oca-Ancón, Guajira-Paraguana y Cuiza-Boconó; y b) la influencia de éstas en la erosión (rasgos geomorfológicos típicos) observada en los sectores costeros analizados. En la zona costera septentrional de la Península de La Guajira, acantilados y plataformas de abrasión

CIOH
www.cioh.org.co

elevadas en depósitos marinos jóvenes, afloran como indicativos de levantamiento repentino del margen costero, después de finalizado el Paleógeno (hace 23.5 Millones de años).

El presente estudio corresponde solamente al inicio de una serie de análisis y actividades posteriores, más elaboradas encaminadas a ratificar los resultados encontrados y profundizar en el conocimiento geológico del borde costero en el Caribe colombiano.

Palabras claves: Geoformas Costeras, Acanilados, Fallas, Levantamiento Activo, Márgenes continentales.

Abstract

During geomorphologic survey carried out on the coastal zone at the Department of La Guajira, Colombia, signs of active upwelling at the Northern continental margin of South-America were described, which are closely related to the Oca Fault. This is the north limit of the structural and triangular staff named Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). Results are really important to General Maritime Direction and its Research Center because they become a scientific support for the analysis of hazard due to coastal erosion, as conditioning agents of the administrative performance on the areas under the jurisdiction of the maritime authority around the Caribbean coastal zones of Colombia.

Cartography scale 1:25000 and 1:50000 produced by Oceanographic and Hydrographic Research Center CIOH, was useful to provide better details than other similar approaches, in order to define the superficial geomorphologic and quaternary lithologic units (1.75 M.y. or less) and high instability coastal zones. This case-study illustrates possible relationship

between: a) the SNSM presence and recent activity of the Oca-Ancon, Guajira-Paraguana and Cuiza-Bocono Faults; and b) sectors that show high erosion (typical geomorphologic features). Other geomorphologic features observed close to northern La Guajira Peninsula's coastal sector, as well as sea cliffs and high sea abrasion surfaces (wave-cut platforms) on marine young deposits suggest sudden upwelling of coastal margin after the Paleocene had ended (23.5 M.y. ago).

The Present study is only the start of a series of subsequent analyses and activities more elaborated, that are intended to ratify the findings and to go deep into Colombian Caribbean coastal margin geologic knowledge.

Key words: Cliffs, Coastal landforms, Faults, Upwelling, Continental margins.

Introducción

El *Departamento de La Guajira* se localiza en la parte más septentrional de Sudamérica y en el extremo nordeste de Colombia. Cuenta con aproximadamente 20.848 Km² y limita por el sur, sudoeste y oeste con los departamentos de *Cesar* y *Magdalena*, por el nordeste y este con Venezuela y por el norte y noroeste con el *Mar Caribe*, dentro del cual se prolonga en forma de península.

El área de estudio corresponde a un sector de *La Guajira*, a lo largo de una franja que abarca aproximadamente 3 Km. de ancho a partir de la línea costera hacia el interior, entre la boca del *Río Palomino*, límite con el *Departamento del Magdalena* al Oeste; y el *Hito Internacional* en *Castilletes*, límite con Venezuela al Este (Figura 1).

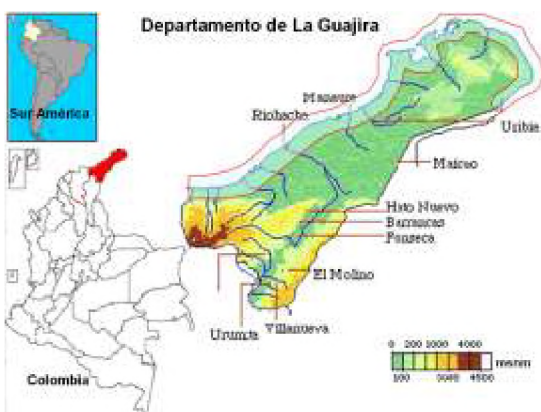


Figura 1. Esquema de localización del Departamento de La Guajira en la península nordeste que lleva su nombre en el norte de Colombia, esquina noroccidental de América del Sur. La zona resaltada en transparencia azul y bordes rojos, corresponde a la zona costera del área de estudio, entre el Municipio de Palomino, al oeste y El Hito Internacional Castilletes al nordeste.

El autor reunió la información para este estudio entre 2001-2002 durante su trabajo de grado en Geología para la *Universidad Nacional de Colombia* Sede Bogotá, mientras laboraba como investigador de la *Sección Zona Costera* de la *División de Estudios Ambientales* en el CIOH de la Armada Nacional, Cartagena, Bolívar (Colombia).

Durante la *Caracterización de la Zona Costera del Caribe Colombiano, Departamento de La Guajira*, el CIOH [1] elaboró cartografía a escala 1:25 000 de las unidades geomorfológicas de la zona costera del *Departamento de La Guajira* para evaluar los sectores más inestables mediante análisis multitemporal de la línea de costa entre *Playa de los Holandeses* y *Punta Chuchupa* y los sectores que presentan alta, media, baja erosión y acrecimiento costero [2, 3]. El análisis permitió identificar una serie de geformas indicadoras de levantamiento reciente o relativamente rápido. Estos resultados son relevantes para la *Dirección General Marítima* y su *Centro de Investigaciones* en el Caribe colombiano, al constituir un sustento científico en el análisis de amenaza por erosión, como

factor condicionante de las actividades sobre las áreas que se encuentran dentro de la jurisdicción de la autoridad marítima, en las zonas costeras de *La Guajira* y parte del *Departamento del Magdalena*.

Como hipótesis se planteó que existen geformas relacionadas con actividad reciente de las Fallas de Oca, Cuiza y Guajira-Paraguaná (FOCGP), dado que los depósitos presentan rasgos de tectónica reciente según el estilo estructural de las principales tendencias 4, tales como altos y bajos batimétricos y topográficos alineados con escarpes de falla y facetas triangulares sobre depósitos cuaternarios, meandros encajados y cursos fluviales controlados (drenaje angular), abanicos disectados, ciénagas y lagunas costeras formadas a partir de valles o depresiones tectónicas costeras.

Metodología

Las etapas metodológicas comprendieron la consecución y revisión de información fotográfica, cartográfica y bibliográfica; la fotointerpretación y trabajo de campo; el análisis de la información, pruebas de laboratorio, comparación de observaciones con resultados precedentes. La definición de unidades geomorfológicas costeras siguió la "Metodología para Levantamiento Geomorfológico" del International Institute for Aerospace Survey and Earth Science ITC [5]; y se tuvo en cuenta los conceptos geomorfológicos de la Enciclopedia Británica [6], Verstappen [7] e Ingeominas [8].

Aspectos geomorfológicos

Regionalmente, en *La Guajira* se reconocen dos provincias fisiográficas: *Baja Guajira*, corresponde a la planicie, que cubre en gran parte la zona central del departamento, está constituida por sedimentos terciarios a cuaternarios; y *Alta Guajira*, correspondiente al sector montañoso, donde afloran rocas paleozoicas a cuaternarias [9] y comprende la SNSM y los *Montes de Oca* en las estribaciones

de la *Cordillera Oriental*, al sudoeste y nordeste de la península, respectivamente.

Región Baja Guajira

Comprende dos sub-regiones: la *Sur oriental*, que comprende la parte alta, ladera y piedemonte al sur de la SNSM, la zona occidental de la *Serranía de Perijá* y los *Montes de Oca*; y la *Noroccidental*, localizada al suroeste del *Municipio de Riohacha* y comprende la parte alta, faldas, laderas y piedemonte al norte de la SNSM y el área circundante al norte de la vertiente del *Alto Ranchería*.

Región Alta Guajira

Se presenta plana, árida y desértica en su periferia, con formación de extensos campos de dunas, pedimentos y peniplanicies; también ondulada a montañosa y semiárida a semi-húmeda en la parte central de la península, en donde se encuentran cerros como el de *La Teta* cerca de *Ipapure*, las serranías de *Parashi*, *Cojoro*, *Cocinas*, *Carpintero*, *Jarara* y *Macuira*. Las asociaciones litológicas van desde sedimentarias marinas, lacustres y terrígenas, hasta emplazamientos ígneos y metamórficos con control estructural muy bien definido.

Estructuras regionales

El norte colombiano se encuentra en la zona de interacción entre las placas caribeña (al Norte) y suramericana (al Sur). Aunque generalmente es aceptado que la *Placa Caribe* se mueve hacia el Este con relación a la de *Suramérica* [10], este límite no es simplemente de tipo dextral, sino que forma una faja de deformación activa de cerca de 100 Km de ancho, resultante de un proceso elástico de colisión oblicua entre las dos placas [1] En: [2]. No obstante, buena parte de esta porción con movimiento dextro-lateral toma lugar en el *Sistema de Fallas de Boconó-San Sebastián-El Pilar* [10] y el resto de la deformación es distribuido a través de fallas menores asociadas al offshore venezolano.

De acuerdo con lo expuesto por Audemard [10], el campo de esfuerzos que domina este límite activo entre las dos placas, presenta un esfuerzo máximo horizontal en sentido NNO - SSE y esfuerzo mínimo horizontal ESE - OSO, con un régimen de desplazamiento lateral. Dicho autor expone que el tensor de esfuerzos actual, calculado por varios de sus colaboradores a partir de datos de microtectónica en distintas localidades con formaciones plio-pleistocenas al norte de Venezuela, y confirmado por soluciones a mecanismos focales, es responsable de la actual cinemática y actividad de cinco series de fallas dentro de dicha faja de deformación. Se trata de un cinturón plegado con fallas en sentido E-O de desplazamiento lateral-derecho, fallas NO-SE también dextro-laterales (sintéticas a las fallas E-O), fallas normales en sentido NNO-SSE, fallas sinestrales NNE-SSO a N-S, y fallas inversas ENE-OSO (subparalelas a los ejes de pliegue E-W que acompañan las Fallas de Oca, Boconó y San Sebastián).

Falla de Boconó

La falla dextral lateral de Boconó presenta tendencia general NE-SO y está relacionada genéticamente con la tectónica entre Colombia y Venezuela. *Boconó* es considerada la falla más importante del límite del cinturón de deformación entre las Placas Caribe y Suramérica. Es de las de más rápido desplazamiento [10] y hacia Venezuela, es la mayor fuente sismogénica, moviéndose levemente oblicua al eje principal de los Andes venezolanos. Limitan las costas del Caribe al norte de Venezuela y se extiende cerca de 500 Km entre las depresiones del Táchira (en el borde entre Colombia y Venezuela) y Morón (en la costa Caribe de Venezuela).

Hacia el Norte, la *Falla de Boconó* se conecta con las de *El Pilar* y *San Sebastián* de sentido E-O, y dan lugar a la fosa que limita por el sur la *Placa Caribe*. Hacia el Sur, *Boconó* se conecta con el sistema lateral-inverso que conforman las

fallas de *Chinacota* y *Chucarima* en Colombia. Este sistema tiene expresión sub-paralelamente hacia el sudoeste hasta el *Golfo de Guayaquil* en el Ecuador, ejerciendo control NO-SE en las cadenas montañosas de Colombia y Venezuela [11]. Las evidencias geomorfológicas del control actual que ejerce la *Falla de Boconó* sobre las costas venezolanas han sido descritas por varios autores durante décadas, y consisten de una serie de valles alineados con amplitud entre 1 y 5 Km, depresiones, trincheras, *sag-ponds*, escarpes y crestas entre otros [2-10]. Otros ejemplos están marcados por rasgos del Holoceno en crestas montañosas, drenajes, depósitos aluviales y meandros encajados, etc., que han sido utilizados para medir desplazamientos durante el Cuaternario resultando entre 3 y 14 mm/año y otros mencionan tasas de 5 a 9 mm/año [10].

Estudios sobre la sismicidad actual a lo largo de la *Falla de Boconó*, sugieren fallas sub-paralelas en dirección del *Caribe*, hacia el Norte, que pueden ser fuentes sismogénicas importantes, y están relacionadas con la actividad sísmica de las cadenas montañosas al Sur [12].

Fallas de Oca-Ancón

Después de la *Falla de Boconó*, las *Fallas de Oca-Ancón* son el segundo mayor rasgo tectónico del cinturón transpresivo. Ambas definen los límites Norte y Sur del bloque triangular de *Maracaibo* (Oeste de Venezuela y Norte de Colombia), el cual está limitado al Oeste por las *Fallas de Bucaramanga* y *Santa Marta*.

Varios autores consideran cierto el desplazamiento dextral lateral de estas dos fallas [13,14,15,9,5]. Entre *Santa Marta* (Colombia) y la *Boca de Aroa* en la costa Este del *Estado de Falcon* (Venezuela), extendiéndose por más de 650 Km. Mientras que otros consideran que hacia el extremo Este del piedemonte de la *Sierra Nevada*, la falla tiene comportamiento normal [15]; muchos otros citados en: [9].

Las *Fallas de Oca-Ancón* poseen el más grande potencial sísmico al Noroeste de Venezuela y Norte de Colombia, pues se han registrado terremotos de hasta 7.5° Ms [17]. Con períodos de recurrencia de 1752±133 años para *Ancón* y 4300±1000 años para *Oca*. Sin embargo, como la *Falla de Oca* tiene un trazo continuo cercano a los 400 Km entre *Santa Marta* y *Boca de Aroa*, la longitud de ruptura en las fallas cosísmicas, es probablemente la tercera parte de la longitud total de *Oca*. Por consiguiente, el período de recurrencia es mayor en la *Falla de Oca* que en la de *Ancón*. Desde el más reciente evento, solo se ha registrado ruptura de 120-130 Km. En el extremo más oriental, entre la Laguna de Sinamaica y Mene de Mauroa, cerca de 1920±780 años a.p. [17]. Si el período de recurrencia calculado es aproximadamente correcto, el próximo sismo de 7.5° Ms generado por la *Falla de Oca*, dentro de la región de Maracaibo, deberá esperarse para dentro de ±2.500 años.

Según Chingana y Vargas [16], la transcurrencia entre la placa Caribe y el margen suramericano con sentido ESE, produce al norte el desplazamiento hacia el Este de la plataforma Guajira, ubicada al norte de la plataforma continental. El plano de separación entre estas plataformas es la *Falla Oca* con rumbo E-W y su desplazamiento es dextral. Los autores mencionan indicios de movilidad reciente y citan estimaciones de movilidad que oscilan entre 0,2 y 1,0 mm/año [16]. Estos mismos, afirman también que en vecindades a esta zona de falla se presentó el 20 de febrero de 2004 un sismo reportado por la Red Sismológica Nacional de Colombia con magnitud 6.1 ML y que el National Earthquake Information Center le asignó 4.6° Mw, y para ambos casos el hipocentro se ubicó a 50 km. de profundidad. El sismo de febrero de 2004, muestra mecanismo focal rumbo deslizante y área de ruptura pequeña. Al ser la falla de Oca rumbo deslizante aquí y con la gran profundidad focal reportada para este sismo, se establece que el mecanismo focal responde a la transcurrencia dextral que la placa Caribe presenta con respecto a la plataforma continental en esta región.

Resultados

A lo largo de la costa del Departamento de La Guajira se determinaron rasgos geomorfológicos tanto en costas arenosas como en costas rocosas, asociados a geoformas que sugieren levantamiento del margen continental a partir del Oligoceno. Estas geoformas están representadas principalmente por *plataformas de abrasión marina* compuestas de arrecifes de coral de edad Mioceno 9,18, tal vez Pleistoceno (este trabajo), que se encuentran elevadas entre 1 m en la Baja Guajira y 40 m en la Alta 1,8,2.

También se presentan *acantilados* en depósitos plio-pleistocénicos y *escarpes* labrados fluvialmente en depósitos holocénicos por ríos entallados que conforman *redes de drenaje angulares*, sugiriendo control estructural ejercido por *alineamientos asociados a las Fallas de Oca* (Figura 2) y *Cuiza*, ambas en sentido aproximado Este-Oeste (E-O), Suroeste-Nordeste (SO-NE), Sudeste-Noroeste (SE-NO), (Figura 4) y tiene expresión morfológica en la línea de costa con la formación de *puntas escarpadas* y *depresiones cenagosas* o *sag-ponds* alineados, en su mayoría conformadas por depósitos plio-pleistocénicos.

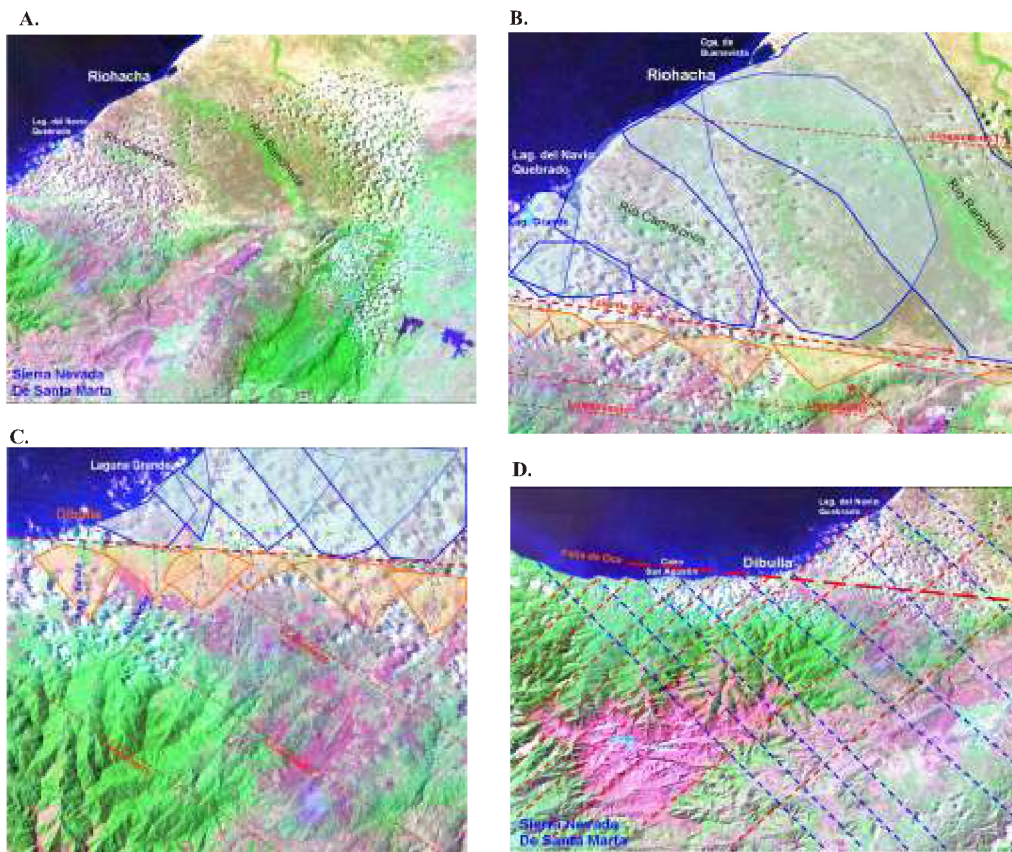


Figura 2. Extractos de Imagen Landsat TM7 (Mar-2001) falso color (bandas 3,2,1) a diferentes escalas. **A:** Evidente control estructural E-W, SW-NE / SSW-NNE y SE-NW en topografía, drenajes y depósitos de piedemonte. **B:** Detalle del mismo sector de A, con traslape de abanicos cuaternarios (sombras azules) disectados por arroyos controlados según SE-NW (lineamientos azules en D); y truncados por la Falla de Oca (rumbodextral flechas rojas). **C:** Detalle al Oeste de B; muestra la expresión morfológica hacia la costa, del control de cuaternarios (sombras anaranjadas). **D:** Lineamientos asociados a estas estructuras, controlan el drenaje del sector entre Don Diego en el Departamento del Magdalena (extremo W) y el área del presente estudio en La Guajira. Los tonos azulosos brillantes (arriba izquierda, en todas), son la pluma de sedimentos transportados hacia el SW y W por la deriva litoral. Las nubes se ven en color blanco. Los demás colores denotan tipos de vegetación.

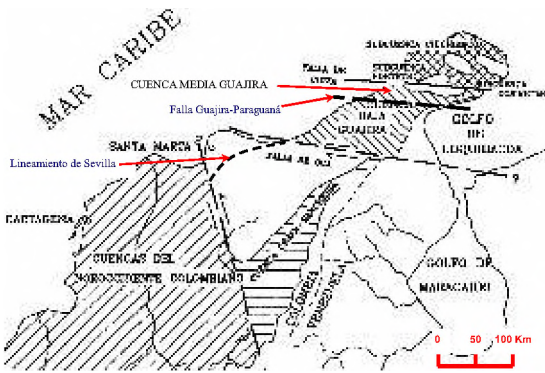


Figura 3. Esquema de cuencas sedimentarias del Norte de Colombia, en el que se aprecia los tres principales lineamientos (tendencias estructurales) que separan las provincias estructurales septentrionales y que son determinantes en la geomorfología costera. Modificado de MANTILLA y MULETT (1991). Escala aproximada.

Otro rasgo fundamental encontrado en la zona costera, fue la *interrupción en la continuidad de los abanicos de piedemonte* de la Sierra Nevada de Santa Marta, cuya dirección de depositación hacia el NNE ha sido truncada, o mejor desviada, por el valle que forma la Falla de Oca y, los sedimentos son actualmente transportados hacia el occidente (aparentemente desde el

Pleistoceno, hace menos de 2 M.a., figura. 3), por las aguas del Río Jerez y al desembocar, se pierden por el talud, muy inclinado, de la plataforma frente a las costas de *Palomino, Don Diego, Guachaca y Neguanje* [19]. Los depósitos activos de tales abanicos alcanzaban las costas y actualmente sólo son apreciables hacia el piedemonte (Figura. 5) y son erosionados por oleaje, intemperismo y por los arroyos que también son controlados estructuralmente en sentido SE-NO y SO-NE (Figura. 4).

A lo largo de la franja costera, se apreciaron también *plataformas de abrasión elevadas y acantilados* (Figura 6) compuestos por conglomerados plio-pleistocénicos (Figura 5) hasta ahora no diferenciados (Formaciones Siamana, Uitpaná y Monguí) y por depósitos marinos (Formación Jimol y Castilletes) de edad Mioceno. Bürgl [9] y De Porta & Hoffstetter [20] asignan edades entre Oligoceno y Mioceno a estas dos unidades que reflejan el fuerte fenómeno erosivo del mar sobre la costa, favorecido por el levantamiento relativamente rápido de la margen costera.

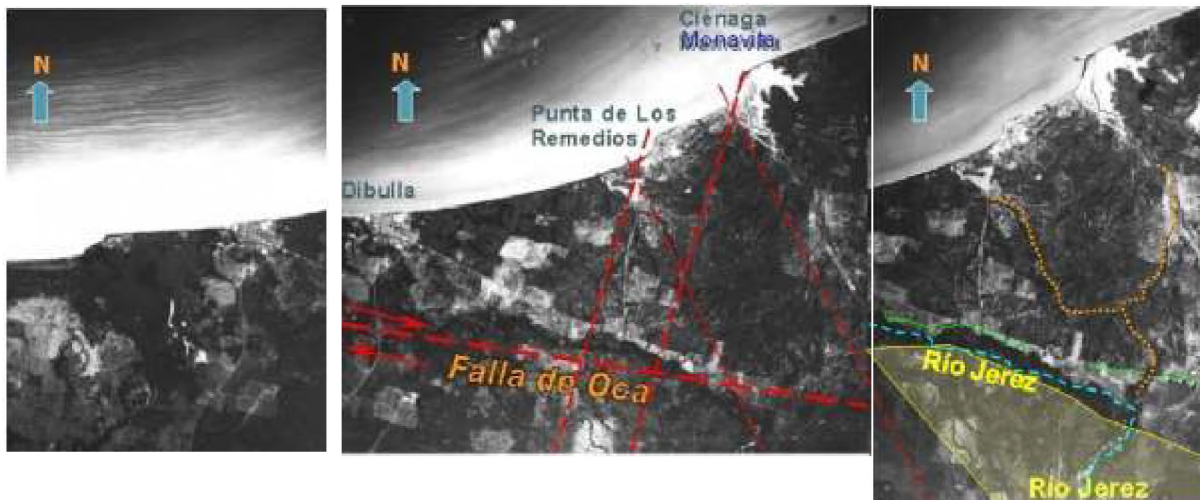


Figura 4. Tripleta estereográfica no a escala del sector entre Punta El Sequión (al Oeste de Dibulla) y Ciénaga Monavita (al Este de Punta de Los Remedios). Se resalta el trazo aproximado de la Falla de Oca, la cual controla el curso del Río Jerez (azul); y los lineamientos asociados en sentido SW-NE y SE-NW. El Río ha disectado el abanico-terracea y ha formado escarpes (líneas verdes) al borde de conos-terracea. A lo largo del valle, aún se diferencian entre dos y tres niveles de terrazas, así como facetas triangulares. Nótese en línea punteada anaranjada, antiguos cauces del río entre depósitos distales, a su vez afectados por dichos lineamientos.



Figura 5. Acantilado homogéneo del sector entre el Suroeste del Corregimiento de Punta de Los Remedios y el Noreste de Dibulla, donde se aprecia material no-consolidado perteneciente al abanico depositado por el Río Jerez, antes de ser disectado por el mismo, al ser controlado por la falla de Oca. El escarpe alcanza 20 m en la parte más alta. Se destacan rasgos geomorfológicos típicos de erosión activa; al fondo, montañas de las estribaciones de la SNSM anteceden las costas Suroccidentales del área de estudio.

Hacia el límite Norte de la SNSM, entre *Punta de Los Remedios* y el valle del *Río Jerez*, se observaron *crestas rocosas*, *facetas triangulares* y *escarpes alineados* en depósitos miocénicos (posiblemente holocénicos), originados por desplazamiento de la Falla de Oca, la cual presenta componente normal hacia el extremo oriental del Departamento (Figura 7). Otro rasgo evidente es el control estructural expresado como alineamientos asociados a dicha falla, en ríos y arroyos que cortan la secuencia de sedimentos cuaternarios de la llanura costera entre la línea de costa y el piedemonte de la SNSM. *Valles rectilíneos profundos* de ríos y arroyos controlados desde el Terciario Inferior y Superior [15], atraviesan en el sentido de la falla, abanicos aluviales depositados desde el piedemonte de la SNSM y han dejado entre uno y tres *niveles de terrazas* de hasta 2 m de altura cada una y *conos de deyección* asociados (alineados), con *taludes costeros* (acantilados) de sedimentos poco consolidados (figuras 2 y 8).

Otro elemento considerado como importante dentro de las evidencias del control estructural activo que ejerce la *Falla de Oca* en el litoral, es el *aspecto rectilíneo y escalonado* de la costa al

suroeste del área de estudio, en el sector entre *Don Diego* y *Riohacha*. Este rasgo es muy acentuado al Oeste de la boca del *Río Jerez*, cerca al *Corregimiento de Dibulla* (figuras 2 y 4). Es a partir de allí donde la plataforma continental se hace notablemente más estrecha hacia el Oeste (figura 9) y el gradiente de inclinación es más elevado, lo cual favorece los procesos erosivos en las playas (figura 10), como también lo hacen la misma ubicación geográfica y las características climatológicas y fisiográficas (semi-desierto y desierto) de las costas del Departamento.



Figura 6. Plataforma de abrasión elevada, compuesta de conglomerados de cantos y gravas redondeadas, a la base de un talud cubierto por escombros. El tamaño de la vegetación da idea de la edad y por ende, de la estabilidad del talud en los últimos años. Nótese la cercanía de la población de Punta de los Remedios al borde del talud, indicada por el la flecha roja apuntando al poste de iluminación (esquina superior derecha).

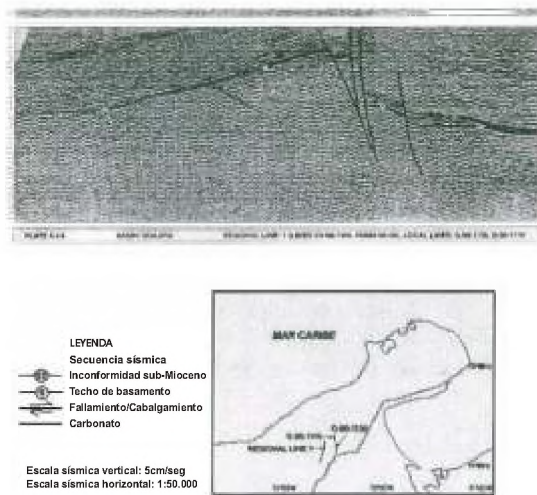


Figura 7. Corte sísmico, que muestra el desplazamiento en sentido normal del techo del basamento, por el 'plano' de la Falla de Oca, al Oriente del Departamento (Cuenca Baja Guajira). Nótese el alto grado de inclinación hacia el N. Escala en kilómetros Tomado de RODRÍGUEZ y LONDOÑO (En preparación).

Discusión y conclusiones

Como un resultado principal del estudio, se estableció que a partir de los rasgos geomorfológicos y características sismo-tectónicas de la zona costera de La Guajira, se dedujo actividad continua desde hace varios miles de años de la *Falla de Oca* y por tanto, un constante levantamiento de la SNSM, los cuales son factores favorables para la erosión costera en el Nordeste colombiano. De aquí, puede presumirse que en el sector oriental a la Sierra Nevada, Oca se comporte como una falla normal, corroborando los resultados de Mantilla y Mulett [21] y de los citados en Audemard [10]. No obstante, es importante considerar los resultados obtenidos a ambos extremos (Este y Oeste) de la falla, por Chingana y Vargas 16 y por Audemard [17].

Esto es evidenciado hacia el límite norte de la Sierra Nevada, en primer lugar por facetas triangulares que aparecen en depósitos terciarios y cuaternarios (valle del río Jerez) y que fueron formadas por el principal desplazamiento de esta gran falla de

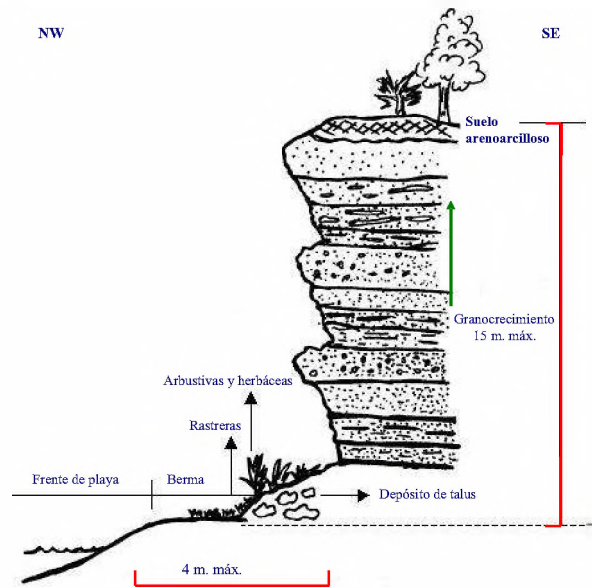
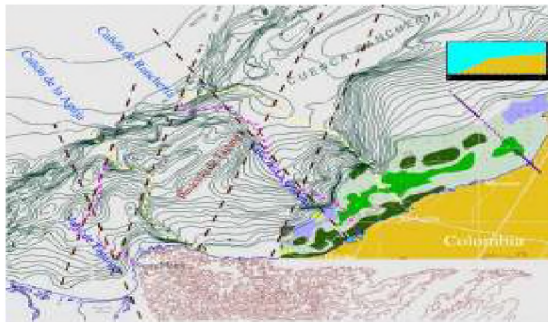


Figura 8. Perfil costero vertical ubicado entre Punta de Los Remedios y Dibulla, que muestra el granocrecimiento de los abanicos terciarios (Oligoceno) de la Formación Siamana (Huguett, 1988). A diferencia de Huguett, este trabajo propone edad Cuaternario para el depósito. Se destacan el alto grado de inclinación del frente de playa ($\theta_{ifp}=14$), la estrechez de la playa, las dimensiones del escarpe y su relativa reciente estabilidad, indicada por los depósitos de talus vegetado. Los rasgos geomorfológicos de este sector de costa, reflejan la influencia del aumento relativo del nivel del mar sobre el borde costero.

componente normal hacia el extremo oriental de la SNSM [21]; en segundo lugar, por estructuras alineadas asociadas a la Falla de Oca, los cuales controlan ríos y arroyos que cortan la delgada secuencia de sedimentos cuaternarios de abanicos depositados fluvialmente desde el piedemonte de la SNSM (figura 3). En los valles rectilíneos se aprecia entre uno y tres niveles de terrazas aluviales de hasta 2 metros de altura cada una, así como taludes costeros de sedimentos poco consolidados (figuras 4 y 5). Es posible que estos valles hayan sido controlados desde el Terciario Inferior a Superior y aún durante el Holoceno; y en tercer lugar, por la presencia de meandros encajados en las estribaciones de la SNSM, correspondientes a los ríos Salvador, Palomino, Don Diego, Don Dieguito, Guachaca y otros del Departamento del

Magdalena [22], lo cual manifiesta que las corrientes de agua no tuvieron tiempo para desviar su curso y se entallaron rápidamente en el lecho rocoso.

Si se tiene en cuenta: 1- que la edad de los depósitos tanto marinos como fluviales expuestos en los escarpes y acantilados, no supera en edad el Eoceno Inferior (23,24,18); y 2- que la formación de acantilados después de la deglaciación del Holoceno al borde de las terrazas marinas de hasta 40 m de altura, con superficies completamente labradas por la acción marina [25], ocurrió desde mediados del Oligoceno en la Alta Guajira (figuras 6 y 7),



TIPOS DE SEDIMENTOS	TIPOS DE SEDIMENTOS			
	ARENAS	ARENAS LODOSAS	LODOS ARENOSOS	LODOS
LITOCLASTICO Sedimentos Continentales	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
LITOBIOCLASTICO: Sedimentos Continentales y Biológicos con Predominio Continental	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈
BIOLITOCLASTICO: Sedimentos Continentales y Biológicos con Predominio Biológico	L ₉	L ₁₀	L ₁₁	L ₁₂
BIOCLASTICO Sedimentos Biogénicos	L ₁₃	L ₁₄	L ₁₅	L ₁₆

Figura 9. Esquema batimétrico (líneas verdes) hasta el veril de los 2000 m frente a la costa Nordeste colombiana entre Barranquilla y Cabo de La Vela (línea de costa en azul). Los lineamientos estructurales (líneas discontinuas color marrón oscuro) orientados NE-SW y NW-SE, controlan la geomorfología submarina (colinas, valles y cañones) y están estrechamente relacionados con la continental (topografía en líneas rojas). En colores se muestran las zonaciones sedimentológicas según morfometría y calcimetría (tabla derecha) hasta el veril de 200 m. El trazado discontinuo color lila, corresponde al perfil batimétrico (arriba derecha) para ilustrar la estrechez y el alto gradiente de inclinación de la plataforma al Norte de la Guajira. (Modificado de Cuignon, 1985 y CIOH, 1996).

podría entonces interpretarse, que el levantamiento activo a que se hace referencia en este trabajo ha sido relativamente repentino. Esta dinámica probablemente se encuentra asociada con el levantamiento de las serranías de la Península y actualmente con el de la SNSM, apoyado esto en la morfología submarina y en la leve pero frecuente actividad sísmica que se presenta en la región [10, 26].



Figura 10. Acantilado al Oriente del Cerro Pílon de Azúcar (Cabo de La Vela) de aproximadamente 20 m en su parte más alta (la flecha negra señala a una persona de 1.90 m de estatura para tener idea aproximada de la escala). Las olas chocan contra el borde de la plataforma de abrasión elevada (flecha roja), la cual está conformada por rocas calcáreas. Encima de ésta, rocas sedimentarias se han dispuesto en capas horizontales de arenas medias fácilmente erosionables. El ataque continuo del oleaje forma hendiduras (notches) y cavernas (caves) que más tarde colapsan (flecha verde) y se forman entonces las cárcavas (gullies). Estos rasgos son típicos de levantamiento activo.

La notable estrechez de la plataforma continental hacia el Oeste de la boca del Río Jerez (figura 9) y su elevado gradiente de inclinación, además de favorecer los procesos erosivos (figura 11), podría sugerir que la SNSM se encuentra en activo levantamiento, si se tiene en cuenta el fuerte control estructural sobre las geoformas actuales tanto continentales como submarinas (figura 10), por lo cual, los sedimentos provenientes de la SNSM no encuentran un soporte hacia la plataforma que les permita estabilizarse y escapan por los cañones submarinos que forman las fallas de La Aguja y de Oca, frente a las costas de Neguanje.

La interpretación morfoestructural planteada en este estudio conlleva a que la actividad del Sistema de Fallas de Oca y el levantamiento de la Sierra Nevada, como factores que favorecen la erosión litoral, es el agente modelador del paisaje costero en el Nordeste colombiano.

La presencia de plataformas de abrasión levemente elevadas (<1m) en las costas actuales del departamento, considerando la edad de los depósitos que las conforman, revelan que el levantamiento ha sido reciente y por tanto relativamente repentino.

La existencia de taludes en los depósitos cuaternarios distales de *abanico* entre los Corregimientos de Dibulla y Punta de Los Remedios y sobre los depósitos de dunas jóvenes del Sureste y Noreste de la ciudad de Riohacha, además de revelar procesos erosivos actuales, corrobora la hipótesis de levantamiento activo.

La actividad tectónica actual, probablemente se encuentra asociada a las fallas de Guajira-Paraguaná, Cuiza, Boconó y Oca-Ancón (de sentido aproximado E-W), las cuales dieron lugar a las principales serranías de la Península [14] y actualmente se encuentran relacionadas con el levantamiento de la SNSM. Sin embargo, las tendencias estructurales en sentido SO-NE y sobre todo, las poco estudiadas en sentido SE-NO, posiblemente también han tenido actividad desde el Plio-Pleistoceno y pueden por tanto, jugar papel importante pero hasta ahora poco perceptible, debido a la reciente actividad morfodinámica.

Desde el punto de vista de aplicabilidad general, los resultados del presente estudio, pueden proporcionar interesantes expectativas a nivel económico, si se tiene en cuenta que el Cuaternario costero es elemento clave para relacionar las posibilidades mineras (materiales de construcción, depósitos de yeso, fosfatos, minerales pesados, entre otros) dentro de marco geológico evolutivo, con los procesos geomorfológicos.

Los rasgos geomorfológicos indicativos de erosión en costas bajas y acantiladas, o acrecimiento de sedimentos costeros en el área de estudio [8], efectivamente sí corresponden a erosión alta. Sin embargo, el registro fotográfico histórico indica estabilidad general (<10 m/año) excepto en los sectores donde se ha erosionado entre 5-10 m/año (erosión media) en los últimos 55 años. La aplicabilidad hace referencia a que el riesgo, cualquiera que sea la amenaza que lo genera, es uno de los elementos a tener en cuenta por parte de la Autoridad Marítima Nacional, durante el proceso de toma de decisiones sobre los permisos y concesiones otorgadas en zonas bajo su jurisdicción, dado que se requiere en todo momento, garantizar la seguridad y la vida de los seres humanos y de sus bienes materiales.

Al comparar los resultados de este trabajo con los obtenidos en trabajos previos como los de Raasveldt & Tomic [27], Bürg [19], Macdonald [23], Tschanz, *et al.* [28,18], Irving [13], Hall & Cediell [29], Macdonald & Opdyke [15], Huguett [30], Carvajal *et al.* [31], Mantilla y Mulett [21], Ujueta [32,11], Martínez [33], Ingeominas [34], Ortiz *et al* [35], Mercado [36] y Rodríguez y Londoño [37]; además de los últimos realizados por Delgado [22] y Ordóñez [2, 3], se puede observar que no todos resaltan los rasgos geomorfológicos o geoformas indicadoras de actividad tectónica reciente en el margen continental septentrional colombiano, a excepción de estos dos últimos autores, Ujueta [32,11] y Pelgrain [4]. Esto conlleva a la necesidad de realizar estudios más continuamente y con alta densidad de datos.

Finalmente, como perspectiva del presente trabajo, se plantea la necesidad de adquisición y procesamiento de fotografías aéreas de mayor escala e imágenes satelitales de alta resolución con el fin de hacer fotointerpretación detallada. Asimismo, se hace evidente, la necesidad de realizar trabajos de campo adicionales para documentar más evidencias que aporten al tema planteado; como muestreos para

dataciones radiométricas y perforación de pozos exploratorios para detallar correlaciones estratigráficas; así como también, la realización de evaluaciones detalladas del riesgo latente por erosión que persiste a lo largo de este tramo del litoral Caribe colombiano.

Agradecimientos

Muy especialmente al equipo humano y profesional del Área de Manejo Integrado de Zona Costera (AMIZC) y a todo el personal técnico y científico del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Armada Nacional de Colombia. Con gran respeto a los profesores Juan Manuel Moreno, Guillermo Camargo y especial admiración al profesor Guillermo Ujueta. Com muito apreço aos meus amigos e professores do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense. Finalmente, con todo el cariño del mundo, a todos mis familiares y amigos.

Referencias bibliográficas

- [1] Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Caracterización de la zona costera del caribe colombiano, departamento de La Guajira. Dirección General Marítima. CIOH, Cartagena; 2001.
- [2] Ordóñez C. Dinámica de la línea de Costa, por erosión y sedimentación, del tramo entre Playa de Los Holandeses y Punta Chuchupa, departamento de La Guajira. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Geociencias. Carrera de Geología. 2002a p 130. Bogotá D.C.
- [3] Ordóñez, C Caracterización geomorfológica de la zona costera del departamento de La Guajira - Colombia: un estudio para la determinación de sectores con alta erosión. VII Congreso Internacional de Ciencias de La Tierra, VI Simposio "Deformaciones recientes de la corteza terrestre en Sudamérica y regiones adyacentes", octubre 21-25 de 2002, Santiago-Chile. Memorias. 2002b.
- [4] Pelgrain. Rasgos tectónicos y estilo estructural de la margen activa N de Colombia. Informe interno CIOH. 1990.
- [5] Verstappen HTh, & R Van Zuidam. The ITC system of geomorphologic survey. A basis for the evaluation on natural resources and hazards, publication 1991 (10). Enschede; The Netherlands; International Institute for Aerospace Survey and Earth Science ITC. The Netherlands.
- [6] Enciclopedia Británica. Coastal landform [on line] Londres, 2000. Disponible en internet (hasta 2002):<http://www.britanica.com/eb/article?eu=120706&tocid=0&query=coastallandform>.
- [7] Verstappen H. Applied geomorphology, geomorphological surveys for environmental development; Amsterdam (The Netherlands): Elsevier Science Publishers. 1983 p 437.
- [8] Ingeominas. Atlas geomorfología y aspectos erosivos del Litoral Caribe Colombiano. Publicación Geol. Especial N° 21, Cartagena de Indias. 1996.
- [9] Bürgl H. Geología de la Península de la Guajira. Boletín Geológico de INGEOMINAS Bogotá: 1960;VI(1-3):129-168.
- [10] Audemard MFA, Machette MN, Cox JW, Dart RL, & Katleen MH. Map and database of quaternary in Venezuela and its offshore regions: a project of the International Litosphere Program Task Group II-2, major active faults of world. Open file-report 00-018 January 2000. USGS.
- [11] Ujueta G Lineamientos de dirección NO-SE y NNE-SSO a NE-SO en el centro occidente colombiano y en el Ecuador; Geología Colombiana 2001 (26). Departamento de Geociencias Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- [12] Rod E. Earthquakes of Venezuela related to strike slip faults? Bull. Am. Assoc. Pet. Geol. 1956.(40):2509-2512.
- [13] Irving E. Mapa geológico de la Alta Guajira; INGEOMINAS-USGS, Bogotá. 1971.
- [14] Feo-Codecido G. Breves ideas sobre la estructura de la falla de Oca, Venezuela. Caribbean Geological Conference; 1972;1:184-190. Margarita.
- [15] Macdonald W. & Opdyke N. Tectonic relations suggested by paleomagnetic results from Northern Colombia, South America. Journal of Geophysical Research; 1972 77(29):5720-5730.
- [16] Chicangana G, Vargas JCA. Análisis sismotectónico de 4 fuentes sismogenicas someras que contribuyen a la amenaza sísmica regional en la Plataforma Caribe Occidental Colombiana. [CD-ROM] X Congreso Colombiano de Geología. 2005. Bogotá, Memorias.
- [17] Audemard FA. Paleoseismicity studies on the Oca-Ancon fault system, northwestern Venezuela. Tectonophysics. 1996. p. 259, 67-80.

- [18] Tschanz CH, Jimeno A, Cruz J. Mapa geológico de la SNSM y Baja Guajira (Colombia); INGEOMINAS-USGS, Bogotá. 1969b.
- [19] Pujos M. Influencia de la contracorriente norte Colombiana para la circulación de las aguas en la plataforma Continental: Su acción en los efluentes en suspensión del Río Magdalena. Boletín Científico CIOH, Cartagena, 1986 (6):3-15.
- [20] De Porta J, Hoffstetter M. Lexique stratigraphique international. Amérique Latine, Colombie, tertiaire et quaternaire. Volume V, fascicule 4b. Deuxième partit, Centre National de la Recherche Scientifique. Paris; 1974. p. 643.
- [21] Mantilla M, Mulett F. Modelo preliminar de evolución tectónica para el extremo oriental de la falla de Oca, departamento de la Guajira, Colombia. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico-Químicas. Departamento de Geología. Instituto Colombiano del Petróleo. Convenio UIS-ICP. Bucaramanga. 1991.
- [22] Delgado R. Evaluación de la estabilidad de la franja costera del departamento del Magdalena en términos de erosión y sedimentación. Trabajo de grado; departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia; Sede-Bogotá; 2002.
- [23] Macdonald W. Geology of the Serrania de Macuira area, Guajira Peninsula, Colombia, Ph. D. Dissertation, Princeton University. 1964. p 167.
- [24] Raasveldt H. Mapa geológico y geomorfológico de la península de La Guajira, especialmente adaptado al estudio de aguas. Informe 1088. Instituto Geológico Nacional. 1954.
- [25] Walker R, James N. Facies models: Response to sea level change; Geological Association of Canada. 1992 p. 179-194.
- [26] Page W. Geología sísmica y sismicidad del NE de Colombia. Integral-ISA, Woodward and Clyde Consultants, San Francisco, Medellín. 1986.
- [27] Raasveldt H, TOMIC A. Fallas de rumbo del nordeste de Colombia. Revista del Petróleo 1961 VII(64):587-621.
- [28] Tschanz CH, Jimeno A, Cruz J. Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). Preliminary Report; Ingeominas. 1969a.
- [29] Hall M, Cediél F. Los Sedimentos marinos terciarios y recientes de la península de La Guajira y su posible significado económico. Geología Colombiana; 1971;8:65-77, Bogotá.
- [30] Huguett A. Resumen del estudio hidrogeológico de la media y baja Guajira; informe 1906.1. Boletín Geológico Ingeominas. 1988 29(1):45-83, Bogotá.
- [31] Carvajal H, Franco J, González J, Marín L, Martínez J, Molina L, Pérez F. Geomorfología y aspectos arosivos del litoral caribe colombiano. INGEOMINAS, Pub. Geol. Esp. No. 21, Santa fe de Bogotá; 1998.
- [32] Ujueta G. Arcos y lineamientos en dirección noroeste-sureste en las cuencas subandinas de Venezuela y Colombia; Geología Colombiana 1993 (18). Departamento de Geociencias Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- [33] Martínez J. Geomorfología y amenazas. Mapas atlas de la línea de Costa del Caribe Central Colombiano. Ingeominas. Boletín Geológico N° 19; Bogotá. 1993.
- [34] Ingeominas. Proyecto inventario minero nacional, departamento de La Guajira, Esc. 1:500.000, Bogotá. 1999.
- [35] Ortiz FO, Mantilla M, Mulett B. Aproximación a la evolución tectónica de la falla de Oca para el terciario, Área Manantiales, Guajira, Colombia. En: VI Congreso Colombiano De Geología, Resúmenes; 1993 p. 80-96, Medellín.
- [36] Mercado G. Mapa geológico del departamento de La Guajira. Ingeominas. Informe inédito, Bogotá. 2000.
- [37] Rodríguez G, Londoño, A. Mapa geológico del departamento de La Guajira, escala 1:250000: Geología, recursos minerales y amenazas potenciales. Informe técnico. Ingeominas. 2001.