

Morfología del margen continental del Pacífico colombiano en los sectores de Bahía Solano y Tumaco

Colombian Pacific margin morphology in Bahia Solano and Tumaco zones

Fecha de recepción: 2015-05-26 / Fecha de aceptación: 2015-08-25

Yerinelys Santos Barrera

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). Área de Hidrografía. Barrio El Bosque, Isla de Manzanillo, Escuela Naval "Almirante Padilla" Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia. Tel: +57 (5) 669 41 04. Correo electrónico: ysantos@dimar.mil.co.

Santos-Barrera, Y. (2015). Morfología del margen continental del Pacífico colombiano en los sectores de Bahía Solano y Tumaco. Bol. Cient. CIOH, 33: 169-186.

RESUMEN

En esta investigación se plasman los resultados del análisis de información batimétrica obtenida en el año 2008, durante una campaña realizada con la Agencia Nacional de Hidrocarburos en dos sectores del Pacífico colombiano. Esta información fue utilizada para caracterizar las geoformas submarinas ubicadas en el margen continental en el área comprendida entre Bahía Solano y la bahía de Baudó, y entre la bahía de Tumaco y la Bahía Ancón Sardinas. Las geoformas submarinas fueron descritas mediante la definición de la Publicación Batimétrica No. 6 de la Organización Hidrográfica Internacional; sin embargo, la revisión de información existente, así como el análisis de los modelos de elevación generados mediante el programa CARIS permitieron una descripción más detallada con base en las condiciones geológicas y tectónicas del área. Cabe destacar que la definición de la publicación de la Organización Hidrográfica Internacional no es suficiente en cuanto a la caracterización y descripción de geoformas, por lo que se efectuó la revisión de la información existente para la delimitación e identificación de las mismas. El análisis permitió obtener la descripción de seis geoformas propias de la zona, que debe su relieve a la intensa actividad tectónica de las zonas de subducción presentes en la región. Los cañones submarinos son uno de los rasgos más notorios de la zona de Tumaco, los escarpes y la alineación de sus estructuras están directamente relacionados con el comportamiento dinámico del área, así como la deformación y la deposición de sedimentos en el fondo oceánico. En esta investigación se describieron las geoformas encontradas a través del análisis de información batimétrica y la información bibliográfica existente del área de estudio.

PALABRAS CLAVES: geoformas, cañón submarino, valle, escarpes, meseta submarina, montaña, loma, Tumaco, Bahía Solano, Esmeraldas, Bahía Ancón de Sardinas.

ABSTRACT

This research presents the results of bathymetric information analysis obtained during 2008 in a campaign conducted with the Agencia Nacional de Hidrocarburos in two sectors of Colombian Pacific. This information was used to characterize the submerged landforms located on the continental margin in the areas between Bahia Solano and Baudó Bay as well as between Tumaco and Bahia Ancon de Sardinas. The submerged landforms were described by the use of the Publication Bathymetric No 6 of the International Hydrographic Organization; however the review of existing information and analysis of the elevation model generated by CARIS program enabled a more detailed description based on geological and tectonic conditions of the area. Note that the definition of Publication B-6 of the International Hydrographic Organization is weak in terms of characterization and description of landforms, therefore it was necessary to review existing information for the definition and identification from the same. The analysis allowed the description of 6 submerged landforms from the area, which owes its relief to the intense tectonic activity of subduction zones that are present in the region. The submarine canyons are one of the most notorious features of the Tumaco area, the escarpments and alignment of their structures are directly related to the dynamic behavior of the area; as well as the deformation and deposition of sediment on the ocean bottom. Thus by this research were described the submerged landforms found based on the bathymetric information analysis and the bibliographic information available by the study area.

KEYWORDS: geoforms, submarine canyon, valley, scarps, underwater plateau, mountain, hill, Tumaco, Solano Bay, Emerald River, Bahia Ancon de Sardinas.

INTRODUCCIÓN

El margen continental en el Pacífico colombiano, donde se encuentran ubicadas las áreas de estudio de la presente investigación, ha sido estudiado y analizado en profundidad por diferentes autores; sin embargo, este estudio se limita a determinar y nombrar las geoformas submarinas de acuerdo con los estándares internacionales de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) [1], sin dejar de lado la investigación científica realizada por otros que servirá para fundamentar el origen y las características morfológicas y tectónicas propias de las zonas de estudio.

Esta propuesta de caracterizar las formas del fondo oceánico en el Caribe y Pacífico colombianos se fundamenta en la Publicación Batimétrica No. 6 de la Organización Hidrográfica Internacional [1], documento cuyo objeto es unificar la designación o nombramiento de las formas del relieve submarino; para que exista la uniformidad internacional en la caracterización de estas geoformas que estarán presentes en documentos científicos publicables, así como en las cartas y mapas temáticos de cada país.

Dada la necesidad de unificar y caracterizar las formas submarinas, cumpliendo con los estándares establecidos en la Publicación Batimétrica de la OHI [1], el Centro de

Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) ha realizado el ejercicio de definir las formas del relieve submarino en dos áreas del Pacífico colombiano, con datos de batimetría adquiridos en campañas realizadas durante el año 2008 en conjunto con la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), así como también las múltiples campañas realizadas por la Dirección General Marítima (Dimar), a través del CIOH, para la actualización de las cartas náuticas del país y establecer los nombres de las geoformas submarinas.

Esta caracterización muestra las formas del relieve colombiano determinadas mediante el uso de información batimétrica y la generación de modelos de elevación del terreno del fondo marino, para obtener una perspectiva tridimensional que permita definir las formas, dimensiones, localización y algunos componentes de tipo geológico de las formas marinas presentes en las áreas de estudio.

ÁREA DE ESTUDIO

En esta investigación se muestran aquellas formas submarinas que hacen parte del margen continental del Pacífico colombiano, ubicadas entre Bahía Solano y la bahía de Baudó, y entre la bahía de Tumaco y Bahía Ancón Sardinas (Figura 1); áreas de las cuales se posee información de levantamientos batimétricos en el CIOH.

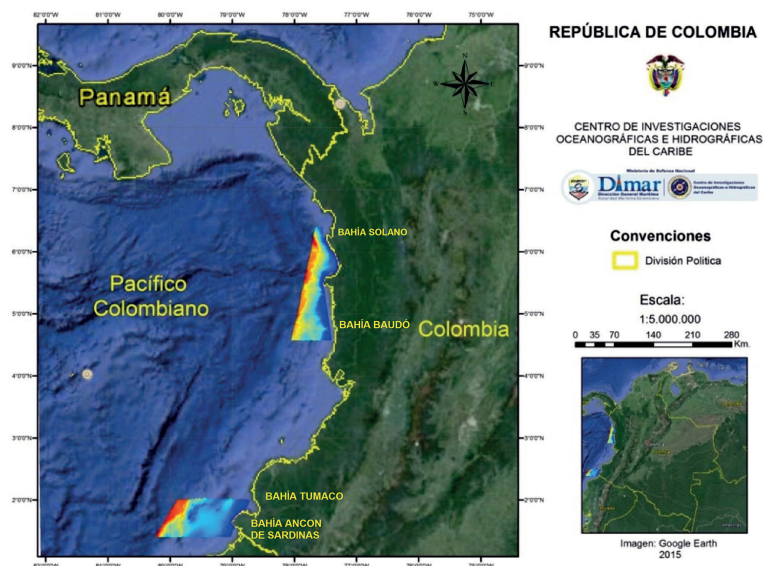


Figura 1. Localización de las zonas de levantamiento batimétrico entre Bahía Solano y la bahía de Baudó y sector al sur ubicado entre la bahía de Tumaco y Bahía Ancón de Sardinas.

METODOLOGÍA

El CIOH realizó el levantamiento batimétrico en el Pacífico colombiano mediante el uso de las ecosondas multihaz y monohaz. Estos sonares han sido, por experiencia, las herramientas más eficaces para el reconociendo de los fondos marinos en el mundo.

La información batimétrica fue recolectada en el Pacífico colombiano con la ecosonda Multihaz ATLAS Hydrosweep MD 2-30 de alta resolución, ideal para cartografiar fondos marinos en aguas someras y medias hasta los 3500 m de profundidad. Este sistema opera emitiendo un abanico de hasta 320 haces hacia el fondo marino, con una cobertura angular de hasta 152°. Además de la ecosonda y el sistema multihaz ATLAS, el CIOH cuenta con un equipo de posicionamiento GPS C-NAV con corrección diferencial satelital, sensor de movimiento TSS DMS3-05 y perfilador de velocidad del sonido Valeport MIDAS.

La escala de trabajo de los datos es variada y específica para cada levantamiento batimétrico realizado; toda vez que la información usada es producto de la necesidad de información usada para actualización de las cartas de navegación de Dimar.

Los resultados batimétricos fueron procesados con el programa CARIS, a través del cual se obtuvieron imágenes de los modelos de elevación del terreno. La aplicación Caris View permite visualizar, identificar y medir las geoformas; además se complementa la obtención de características físicas del relieve, mediante el trazado de perfiles con los que se obtuvo claridad del aspecto morfológico del área de estudio.

El reconocimiento geológico se realizó a partir de los modelos de elevación del terreno con los cuales se determinaron las características morfológicas del área, teniendo en cuenta los requerimientos de OHI [1].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio y análisis mediante herramientas de procesamiento como CARIS 8.1 permitió la identificación de seis geoformas submarinas asociadas al margen continental en el Pacífico. Estas geoformas submarinas se caracterizaron de acuerdo con las definiciones y lineamientos

de OHI [1]. Este organismo internacional establece las directrices para determinar la terminología de las geoformas submarinas, así como las características de identificación de las mismas. Para realizar la caracterización geológica y fisiográfica se tomaron las características morfológicas de la estructura, de acuerdo con la literatura existente; así como también por el análisis mismo de los Modelos Digitales de Elevación (MDE) generados como resultado del postprocesamiento de datos de la batimetría.

Teniendo en cuenta lo anterior se ha realizado la caracterización de las geoformas submarinas en el área, la cual corresponde a dos secciones importantes del margen continental Pacífico, de modo que se identificaron las geoformas submarinas a saber:

I. Margen continental del Pacífico colombiano

Algunos estudios de sismicidad marina llevados a cabo durante la última década a lo largo del margen activo de Ecuador-Colombia, proporcionan un conocimiento detallado de la estructura del margen. Según el trabajo de DeMets.1990 citado por K. Manchuel, la placa de Nazca en su margen activo de subducción se hunde en este sector a una tasa de (5 a 7 cm/año), a lo largo de una dirección N80° [2]. Estos experimentos han demostrado la deformación a la que está sometido el margen continental en el Pacífico colombiano y los límites con el Ecuador, y el alto riesgo sísmico al que está expuesta la zona en estudio (Figura 2).

El margen continental presenta significativas deformaciones que se ven reflejadas en su corteza oceánica; así lo demuestra el estudio realizado (Figura 3) correspondiente a la sección SIS-44 [3], tomada a través del norte de Ecuador-Colombia en el margen continental.

Las elevaciones y depresiones que muestra el perfil sísmico en la sección SIS-44 [3] de la Figura 3 pueden ser comparables con las obtenidas en un modelo de elevación del terreno generado a partir de la batimetría multihaz utilizada para el sector (Figura 4). Éstas son producto de los esfuerzos convergentes del movimiento de la placa de Nazca cuando se sumerge bajo la placa Suramericana en el Pacífico colombiano.

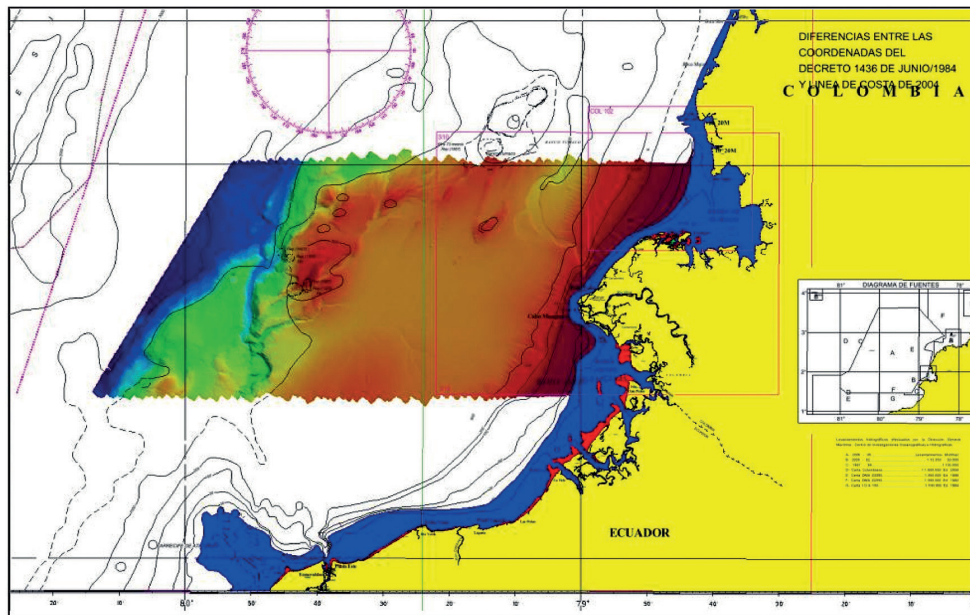


Figura 2. Extensión del margen continental. Sector sur, ubicado entre la bahía de Tumaco y Bahía Ancón de Sardinas.

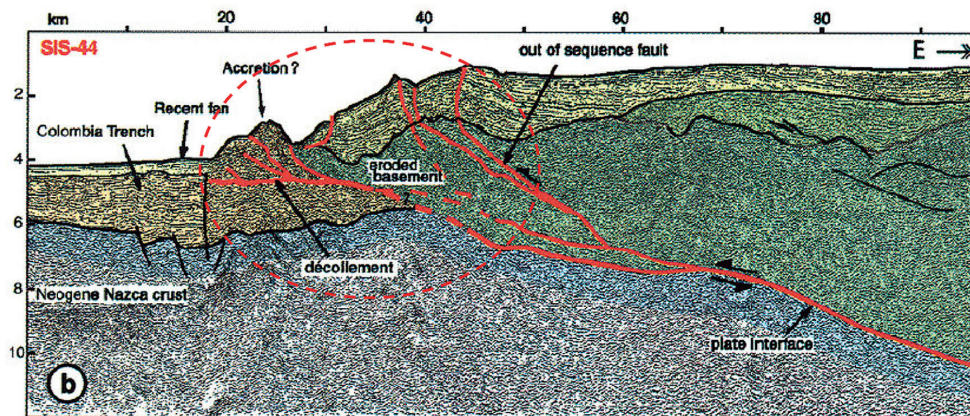


Figura 3. Deformación del margen continental norte de Ecuador-Colombia [3].

Las elevaciones y deformaciones presentes en el área dan origen posiblemente a las geoformas marinas tales como colinas, lomas y escarpes, entre otras. El margen continental en el Pacífico colombiano se reduce de manera significativa en su ancho hacia el norte del Pacífico en los límites con Panamá, formando una plataforma irregular en su extensión. La batimetría muestra surcos de corriente, zonas claras de deslizamientos, así

como depósitos de sedimentos acrecionados en el pie del talud continental. Según el trabajo de Collot y Westbrook y citado por G. Ratzov, esta sección norte del margen ($1^{\circ}30'N$ a $3^{\circ}30'N$) está caracterizada por una cuña acrecionaria cuyo ancho disminuye hacia el sur (Figura 5). En contraste, la parte sur del margen muestra una pendiente angosta (0° a $1^{\circ}30'N$) relacionada con la erosión tectónica [4] (Figura 6).

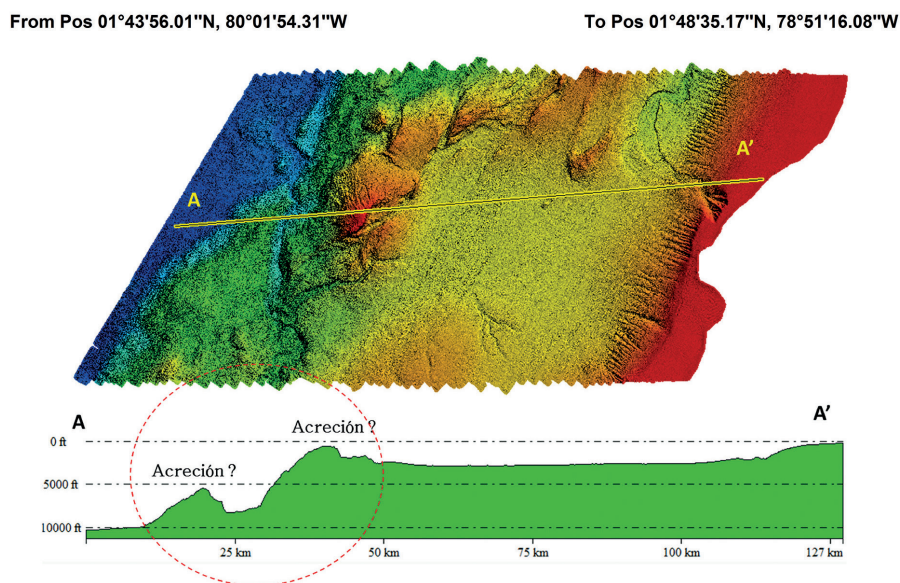


Figura 4. Perfil tomado a partir del DEM generado de datos de batimetría multihaz entre el municipio de Tumaco y Bahía Ancón de Sardinas, en límites con Ecuador. Se reflejan zonas de acreción o levantamientos.

Esta área se define como una zona adyacente a un continente (o rodeando una isla) que se extiende desde la línea de bajamar hasta una profundidad en la que generalmente hay un incremento marcado de las pendientes hacia la profundidad oceánica [1].

El margen continental en este sector tiene una extensión aproximada de 50 km, con profundidades de 3.82 a 24 m en las coordenadas 4°35'08.04 N; 77°24'72.2" W y 6°23'91.04 N; 77°33'46.1" W.

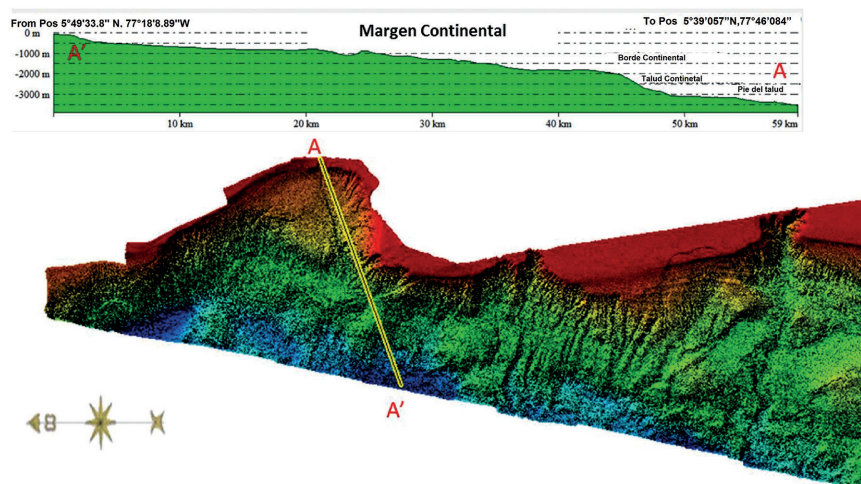


Figura 5. Margen continental del Pacífico, en la zona comprendida entre Bahía Solano y los límites con el departamento del Valle del Cauca. En este sector se evidencia una reducción del ancho en la plataforma continental. Sección transversal A-A' 5°49'338"N; 77°18'8.89"W y 5°39'057"N-77°46'0.84"W.

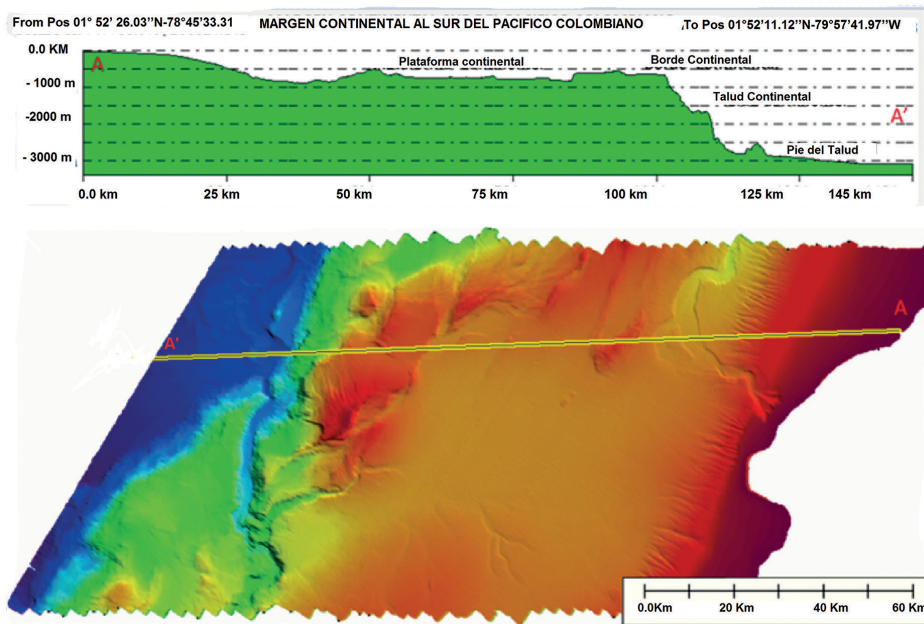


Figura 6. Margen continental del área de estudio comprendido entre el municipio de Tumaco y Bahía Ancón de Sardinas en límites con Ecuador, río Esmeraldas. Sección transversal A-A' 01°52'26.03"N-78°45'33.31"W y 01°52'11.12"N-79°57'41.97"W.

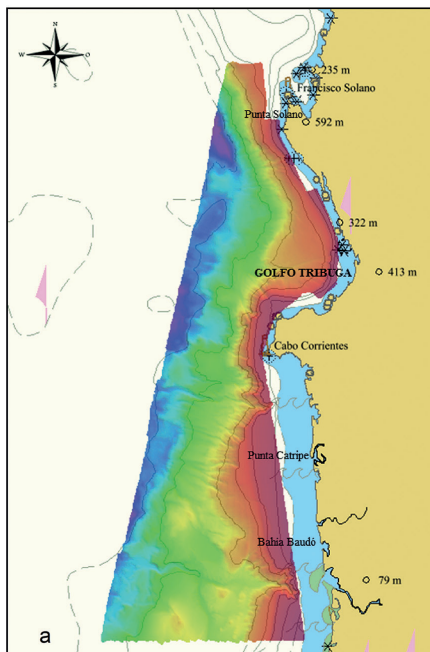


Figura 7a. Margen continental del Pacífico entre las coordenadas 6°24'00.51"N-77°36'26.89"W, 4°35'24.83"N-77°46'22.39"W, profundidad entre 23.6 a 3800 m. Bahía Solano y la bahía de Baudó [5].

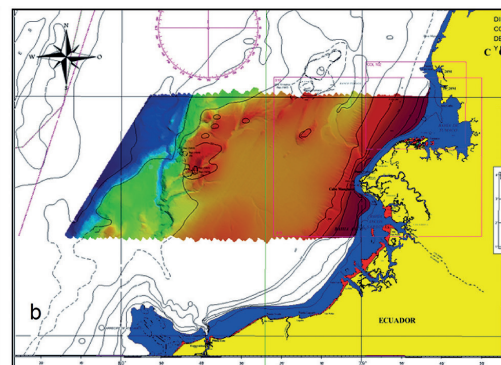


Figura 7b. Margen continental del Pacífico entre las coordenadas 02°02.07.56"N-78°42'17.61"W, profundidad entre 75 a 3087 m. Bahía de Tumaco a Bahía Ancón de Sardinas [6].

La Figura 7a corresponde a un área ubicada al norte del Pacífico colombiano, entre Bahía Solano y la bahía de Baudó, que presenta un margen con 50 km en extensión hacia el océano, con profundidades mínimas de 30 m. Este sector presenta zonas con una alta actividad erosiva, manifestando cabezas bien definidas de derrumbes; así como sistemas de canal generados por los cañones de los ríos que dan inicio al talud continental. Se trata de una zona accidentada constituida por altos y bajos que muestran variedad de formas del relieve que se interrumpen al alcanzar la zona correspondiente al pie del talud a una profundidad aproximada de 3800 m.

La Figura 7b corresponde a otra zona del Pacífico colombiano entre la bahía de Tumaco y Bahía Ancón de Sardinas, que muestra un margen continental con una extensión mayor de 120 km;

presenta canales de arrastre con una escasa pendiente en las proximidades, así como canales y cañones abandonados. Ésta se encuentra seguida de un valle relativamente plano que se interrumpe en un talud compuesto por escasos altos que podrían asociarse a pequeñas lomas o colinas. El talud continental está formado por un relieve variado de pendientes escarpadas, lomas, colinas y valles, así como el rasgo más importante que corresponde al dejado por el paso del cañón del río Esmeraldas.

2. Formas del relieve submarino

El margen continental y el fondo marino del Pacífico colombiano poseen características propias de las zonas de subducción, mostrando variedad de geoformas: mesetas, lomas y colinas entre otras que reflejan la actividad tectónica del medio (Figura 8).

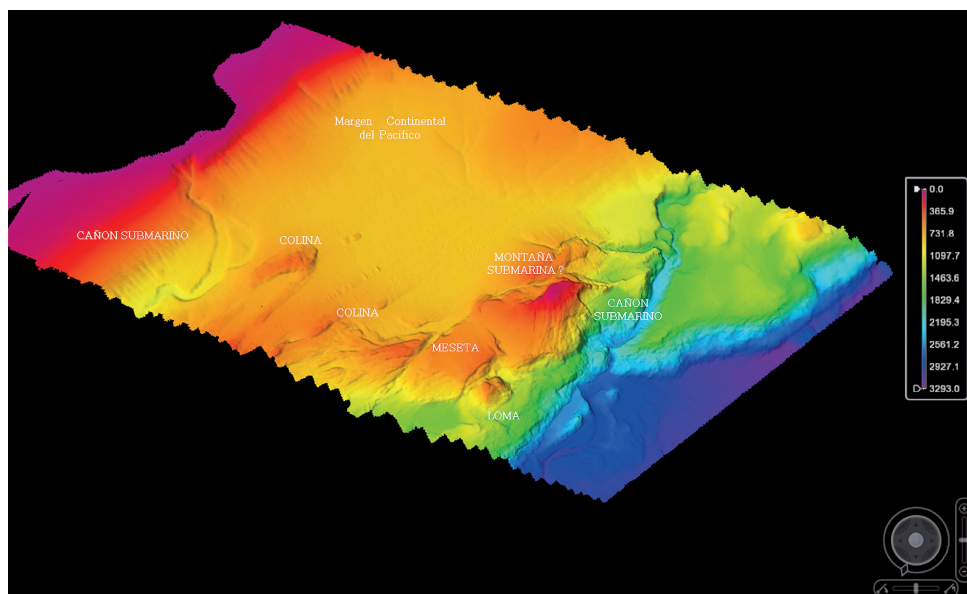


Figura 8. Geoformas halladas en el área de estudio, sector ubicado entre la bahía de Tumaco y Bahía Ancón de Sardinas con un área total 8098.7 km.

2.1 Cañón submarino–valle submarino

Depresión profunda, relativamente angosta y de paredes abruptas, cuyo fondo generalmente se hace más profundo de forma

continua. Es característica de algunos taludes continentales [1].

Los cañones submarinos se hallan en las plataformas continentales de todo el mundo, especialmente como una prolongación de las

desembocaduras de los grandes ríos que se hallan en el continente; estos se abren paso a través de la plataforma y el talud continental, generando un huella de arrastre que erosiona el suelo llevando consigo una gran cantidad de sedimentos hasta llegar en algunos casos a la llanura abisal.

El área norte de la zona de estudio muestra marcados cañones submarinos dejados por el paso de los ríos Decampadó, Catripe, Tribugá (Tabla I) y al sur por el río Esmeraldas, que viene desde el Ecuador, ubicado entre las coordenadas 02°00'262"N; 79°46'386"W y 01°24'867"N; 79°51'339" W.

Tabla I. Cañones submarinos del sector de Bahía Solano al sur del río Decampadó

Río	Geoformas	Localización	Prof. Max-Prof. Min (m) y Extensión (km)
Tribugá	Cañón Tribugá	5°47'07.94"N-77°22'36.93"W 05°44'38"N-77°36'03"W	150-1822.5 m 27.466 km
Catripe	Cañón Catripe	5°19'10.37"N-77°32'37.90"W 05°21'55.05"N-77°50'54.19"W	274-2958.8 m 44.006 km
Decampadó	Cañón Decampadó	4°43'54.78"N- 77°27'19.01"W 04° 50'23.67"N- 77°59'08.38"W	184.6-3162.2 m 70.83 km

2.2 Morfología de los cañones submarinos

Su forma es una depresión profunda, relativamente angosta, en forma de "V" a manera de valle, cuyo fondo generalmente presenta una pendiente continua que puede extenderse desde la plataforma continental hasta las grandes profundidades oceánicas [1] (Figura 9).

Existe una relación entre los flujos de masa sedimentaria que se desplazan por el valle del cañón y la pendiente del terreno en el fondo del mar, teniendo una influencia importante en la evolución tectónica y morfológica de los márgenes continentales.

Las cabezas empinadas de los cañones a lo largo del talud continental superior parecen ser las regiones de fuente primaria para los flujos de escombros que se desintegran y se transforman en los flujos de turbidez erosivos [7].

Estos cañones presentan paredes escarpadas y su fondo con pendiente prolongada a lo largo de todo el canal, así como variaciones a medida que el mismo se aleja del pie de la plataforma continental. Puede formar brazos o meandros

que pueden resultar abandonados o activos (Figura 9). Su pendiente varía a medida que se aleja del talud continental. El cañón Esmeraldas se extiende desde el límite con Ecuador hasta el fondo oceánico en el territorio colombiano. La extensión visible en el territorio colombiano tiene una longitud aproximada de 82.5 km, así como una estructura en "V" muy marcada y escarpada de sus paredes en el canal de corriente.

Cañón Esmeraldas

El cañón Esmeraldas se abre paso a través del margen continental con un estructura meandriforme en dirección rumbo noroeste, con paredes escarpadas que tienen ángulos promedio de 38.5-43° y con alturas entre 100 y 1000 m. Posee una longitud en el área de 82.5 km, con una profundidad máxima 3033.157 m y profundidad mínima de 1640 m en el área estudiada (Figura 11). Rodeado de un relieve de lomeríos y colinas, en una plataforma que posee una dirección lineal NE, no forma un abanico submarino, pero logra prolongarse varios kilómetros en el fondo oceánico. Las figuras 10 y 11 muestran como varía el fondo del cañón en diferentes secciones transversales y asocian la morfología de las zonas laterales del cañón.

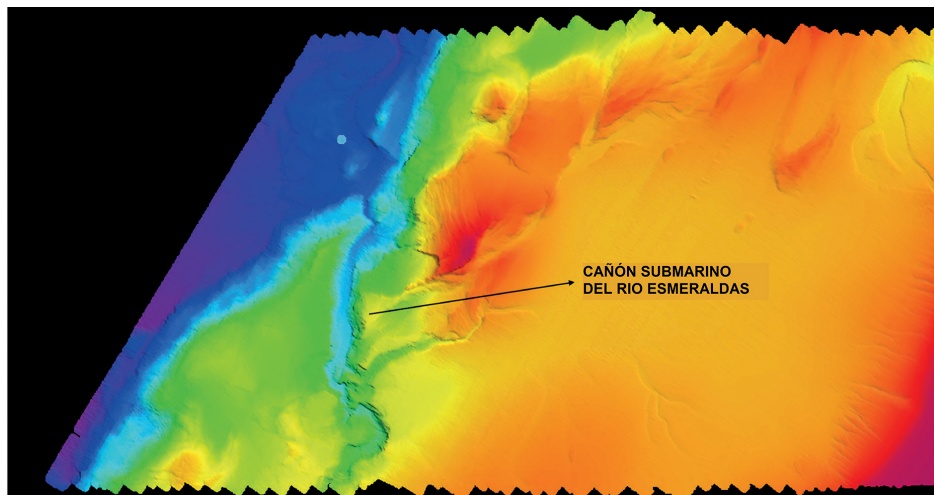


Figura 9. Superficie batimétrica cañón submarino Esmeraldas. Recibe este nombre debido a que es la prolongación del río Esmeraldas en el Ecuador.

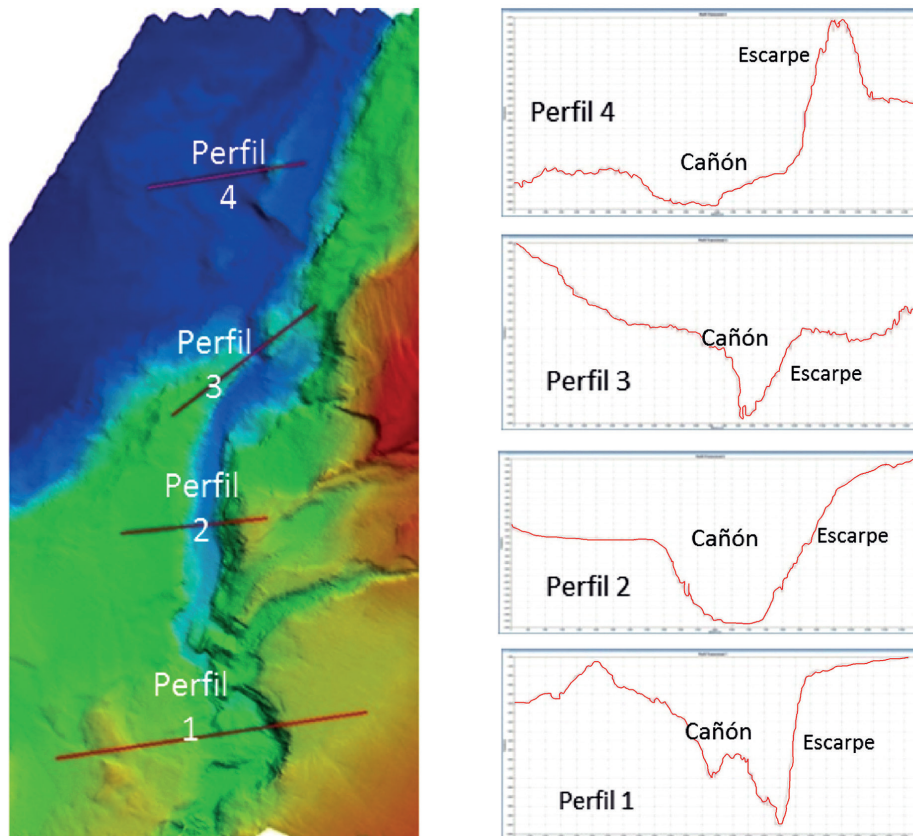


Figura 10. Secciones transversales del cañón Esmeraldas. Se observa la morfología en "V" del fondo, así como las paredes escarpadas del mismo.

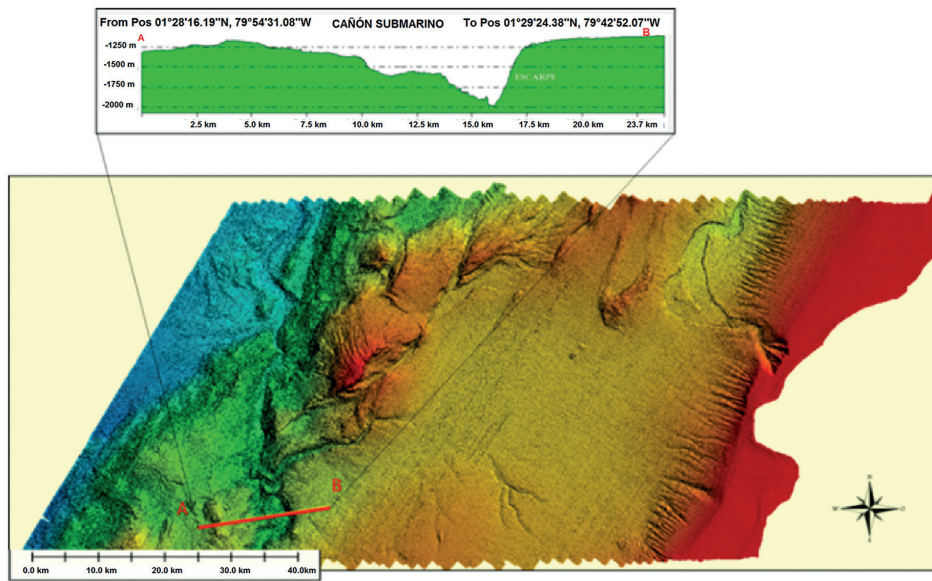


Figura 11. Perfil del cañón del río Esmeraldas en el territorio marítimo colombiano. Presenta paredes escarpadas y forma de “V” en su canal de flujo.

En el departamento del Chocó afluentes importantes poseen cañones submarinos en la

plataforma continental, tal como se muestra en la Figura 12.

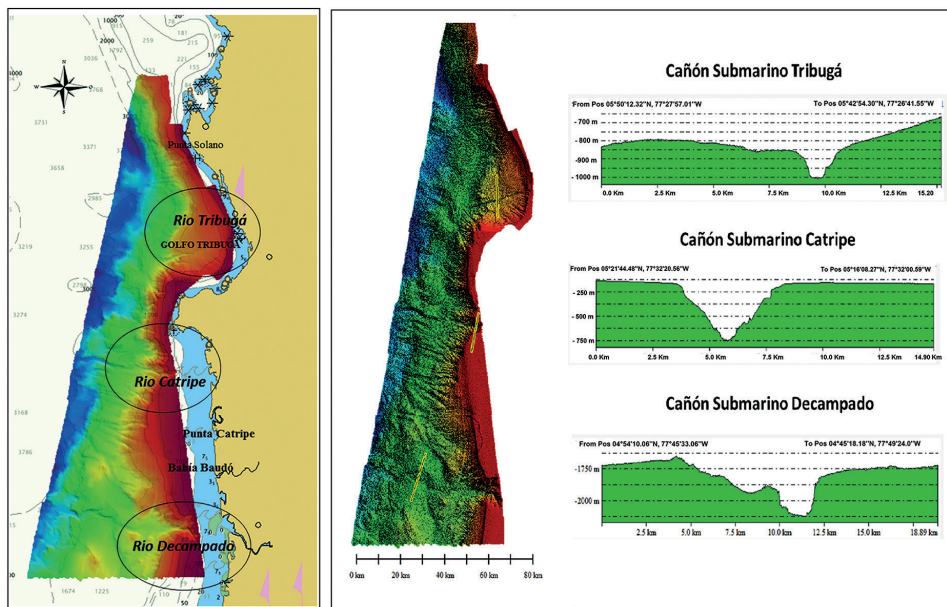


Figura 12. Localización (Izquierda) y cañones de los ríos (derecha) Tribugá ($5^{\circ}47'07.94''N$ - $77^{\circ}22'36.93''W$), Catripe ($5^{\circ}19'10.37''N$ - $77^{\circ}32'37.90''W$) y Decampado ($4^{\circ}44'55.62''N$ - $77^{\circ}28'25.37''W$). Cañones submarinos de los ríos en el Pacífico colombiano.

2.3 Cañón antiguo o abandonado Mira

Como una consecuencia de la tectónica y dinámica terrestre se presentan los cañones antiguos. Estos son estructuras sedimentarias dejadas por un cañón abandonado o cuya actividad no es reciente; algunos deben su origen a la dinámica costera del río que ha variado su curso, dejando huella en el fondo oceánico y posteriormente este canal es rellenado con el aporte de sedimentos propios de la dinámica de la plataforma continental. La Figura 14 muestra un cañón antiguo producto de la dinámica fluvial en superficie, que se halla localizado en inmediaciones de la bahía de Tumaco.

Este rasgo morfológico es uno de los más interesantes de la zona de estudio; pues constituye casi el único cañón abandonado presente. Estudios realizados anteriormente revelan la actividad sísmica de la zona que ha producido sismos de magnitud de ($M_w=8.8$) hacia el año de 1903 [8] y la posible influencia en las variaciones morfológicas del área.

Con relación al curso de este cañón que se haya ubicado sobre el margen continental al norte de la falla Esmeraldas, podría estar controlado por el desplazamiento estructural que sufre la zona, toda vez que el área presenta marcados escarpes alineados y concordantes entre sí, que parecen influenciar en la morfología y dinámica tectónica del sector.

Según Kendrick 2003 y citado por E. Sanclemente 2014, la arquitectura del margen convergente ecuatorial es controlada principalmente por la interacción entre las placas de Nazca y Sudamérica. La placa de Nazca empuja desde abajo y hacia el este la parte norte de la placa de América del Sur a una velocidad de 5.8 cm/año hacia el este, con respecto a América del Sur [9].

El cañón abandonado del río Mira posee un extensión de 122.28 km; es meandriforme y presenta escarpes entre los 100 y 300 m de altura. Inicia en la posición $01^{\circ}45'124''N$ $79^{\circ}00'434''W$ y se extiende hasta más allá de los $02^{\circ}25'32.6''N$ $79^{\circ}18'43.4''W$. A su alrededor se ubican lomas, mesetas y escarpes y no parece extenderse más allá del pie del talud (Figura 13).

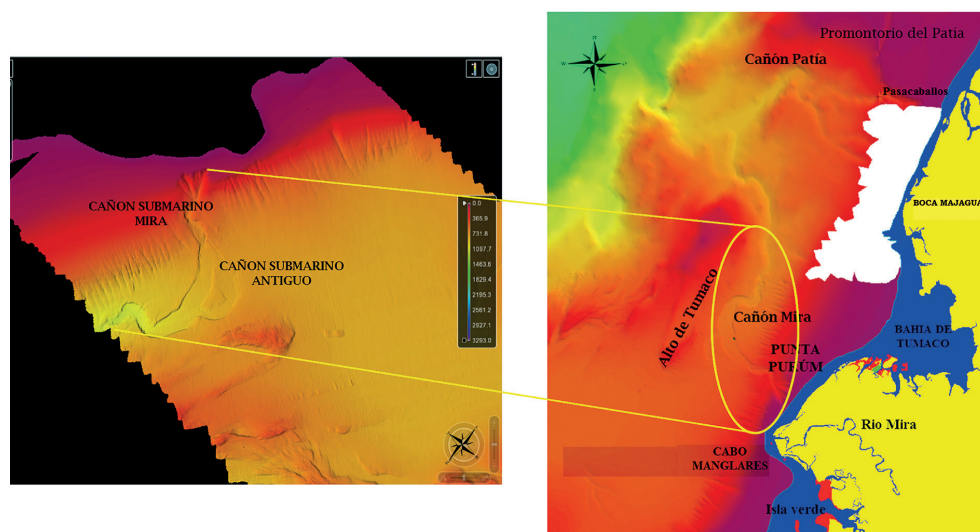


Figura 13. Cañón submarino antiguo cercano a la costa de Tumaco en el Pacífico colombiano (río Mira en la costa).

Mediante la batimetría del área no es posible estimar la edad de los sedimentos del cañón Mira, lo que podría dar una visión aproximada de la inactividad del cañón; sin embargo, el modelo de elevación generado a partir de la batimetría

muestra que el canal ha sido rellenado con sedimentos, así como también que el inicio del cañón presenta señales de deslizamientos y arrastres de material sedimentario hacia el cuerpo del mismo (Figura 14).

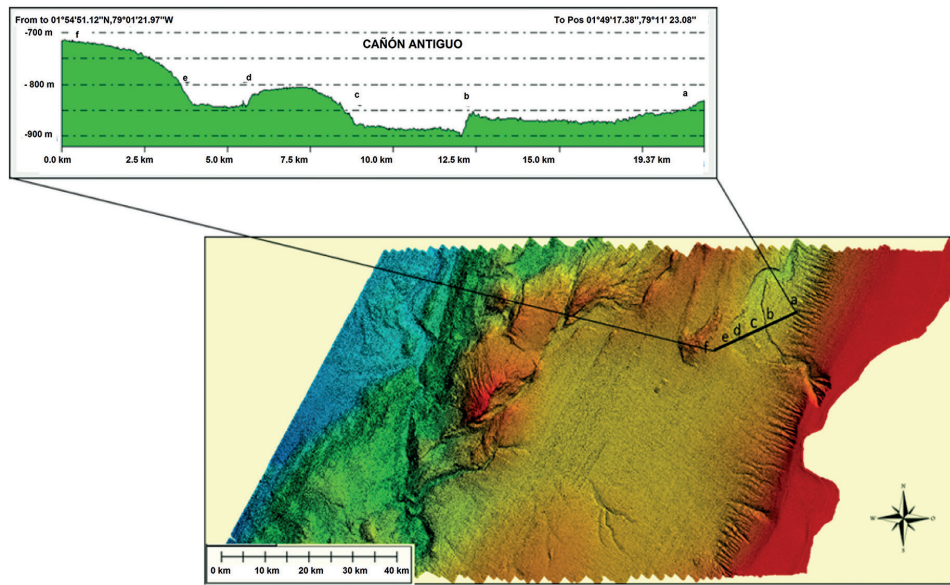


Figura 14. Perfil cañón submarino antiguo y meandros del río Mira. La morfología abandonada muestra lo que correspondía a las paredes escarpadas del cañón que ahora son ocupadas por sedimentos.

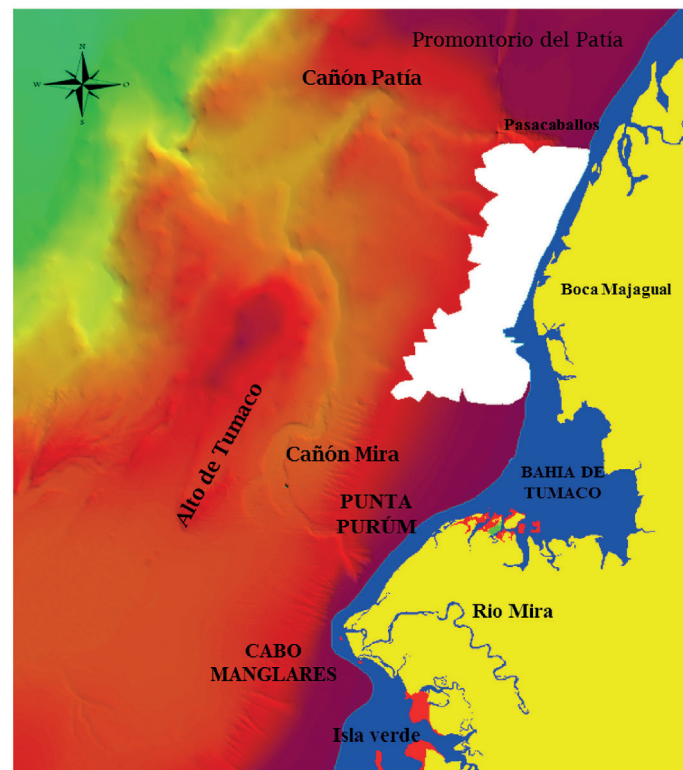


Figura 15. Superficie batimétrica de los cañones Patía y Mira.

Hacia la parte norte del cañón Mira se encuentra el cañón del Patía, el cual presenta dos canales que se interceptan con el cañón Mira uniéndose en uno solo hasta llegar al talud del margen continental. Por su parte, el cañón Mira se ubica al borde de la plataforma en una dirección hacia el oeste a una latitud de $1^{\circ}45'N$; presenta un desvío hacia el noreste, paralelo a la línea de costa y es allí en donde se une al cañón Patía. Adicionalmente, el cañón Mira no registra una unión reciente con su afluente en superficie y su dinámica parece estar controlada por el promontorio Patía al norte y el alto de Tumaco al sur (Figura 15).

2.4 Colina submarina del Mira

Las colinas submarinas son elevaciones o grupo de elevaciones aisladas, menores que un monte submarino [1]. Las colinas morfológicamente son prominencias topográficas aisladas, de formas redondeadas y de pendientes convexas. Las colinas se caracterizan por poseer una elevación menor a los 900 m de altura; si se excediera esta altura correspondería a un monte submarino. En general se definen como cualquiera de las numerosas elevaciones relativamente bajas que surgen del fondo del océano con (menos de 1 km por encima del fondo del océano que rodea). Cubren aproximadamente el 80 % del suelo del Pacífico y cerca de la mitad del Atlántico [10].

Las colinas ubicadas en el Pacífico colombiano, cercanas al sector de Cabo Manglares, se encuentran localizadas entre las coordenadas $1^{\circ}43'50''N$, $79^{\circ}41'17''W$; $1^{\circ}55'15''N$, $79^{\circ}28'94''W$; $1^{\circ}50'38''N$, $79^{\circ}15'15''W$ con un área de 277.88 km²; presentan alturas entre los 100 y 700 m en promedio; poseen una dirección de rumbo NW, se ubican paralelas al cañón del río Esmeraldas, proyectadas como un conjunto de pequeñas elevaciones que forman parte de las laderas del cañón. Si bien la batimetría no muestra claridad de la composición sedimentaria de estas colinas, la literatura sugiere su formación a eventos tectónicos y posterior depósito de sedimentos que llegan al área mediante la erosión generada en las zonas continentales cercanas.

2.5 Escarpes submarinos

Los escarpes o pendiente submarina es una característica lineal muy abrupta y alargada que divide zonas llanas o suavemente pendientes del fondo marino en zonas que no son plataformas [1].

Los escarpes del cañón Esmeraldas lo forman las paredes del mismo prolongándose hacia el fondo oceánico del Pacífico colombiano; éste constituye un sector del talud continental prolongándose de frente a la llanura abisal.

En el área de Tumaco los escarpes están controlados por las zonas de los cañones submarinos de Esmeraldas, Mira y Patía; así como las elevaciones Tumaco y el promontorio del Patía. Las alturas de las paredes escarpadas del margen continental van desde los 8 m, en las zonas someras, hasta los 3300 m de profundidad.

La orientación del escarpe principal correspondiente al pie del talud posee una dirección NE que podría estar controlada por la actividad sísmica y los movimientos generados en la zona de subducción en el sector comprendido entre Bahía Ancón de Sardinas y la bahía de Tumaco.

En el área de Bahía Solano y límites con el departamento del Valle del Cauca, donde el margen continental parece sufrir un adelgazamiento, los escarpes del talud presentan deslizamientos e inestabilidad de acuerdo a lo que se observa en la batimetría del área que está constituida por una zona de canales y cañones, donde las profundidades varían desde los 20 hasta los 3027 m, aproximadamente.

En general, las plataformas situadas en zonas tectónicamente activas como los bordes de subducción presentan morfologías estrechas y pendiente media más elevada que en el caso de los bordes pasivos. La distribución sedimentaria está controlada por la descarga fluvial continental, las corrientes y el retrabajamiento ocasionado por la turbulencia.

2.6 Meseta submarina-Meseta del Mira

Las mesetas submarinas son zonas llanas o casi llanas de extensión considerable con una brusca ruptura de pendiente por uno o más lados [1]. Localizada en las coordenadas $1^{\circ}52'37.85''N$, $79^{\circ}34'16.91''W$, la meseta del Mira posee un área de 161.68 km², altura entre 612.80 y 941.06 m. La pendiente en la cúspide de la meseta no supera el 9 %, por lo que es relativamente plana en comparación con los lados de la misma, donde la pendiente se ve caracterizada por amplios escarpes cuya altura varía desde los 500 a 1500 m de profundidad (Figura 16).

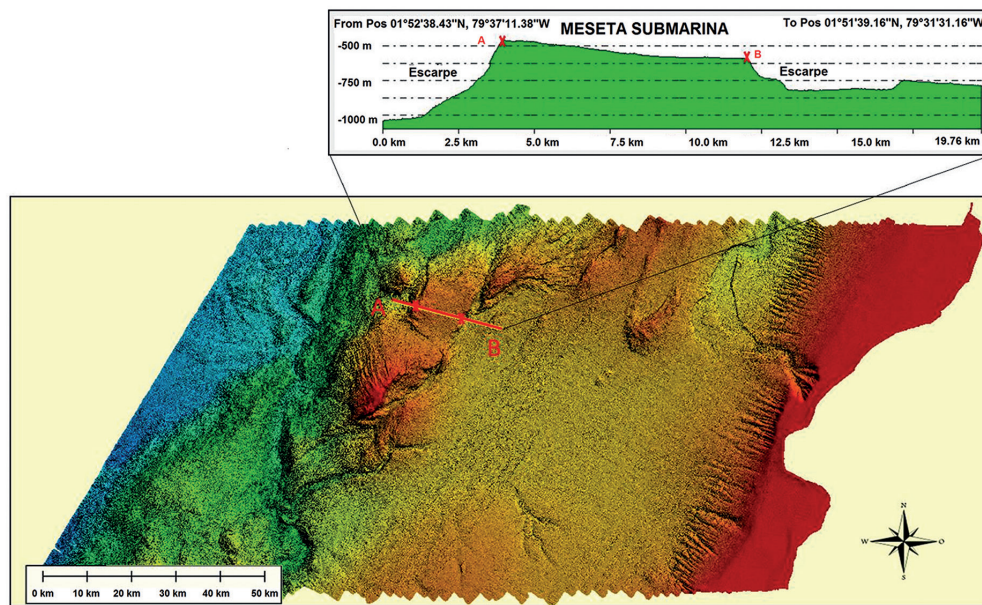


Figura 16. Meseta submarina del Mira que presenta las características propias de este tipo de estructuras con lados constituidos por pendientes fuertemente inclinadas y una forma aplanada en la zona de mayor altura

Esta meseta submarina está basculada y presenta una altura máxima de 500 m en su zona más plana hacia la superficie; su inclinación está orientada SE y la parte más alta de la misma está ubicada hacia el NW de la zona de estudio.

Su ubicación está asociada a una zona de fractura y fallamiento, lo que representa una deformación activa. De acuerdo con estudios sísmicos, la zona comprendida entre el norte del Ecuador y el sur de Colombia está sufriendo una deformación frágil hacia una profundidad de 40 km. Esta deformación se extiende por una amplia franja de aproximadamente 100 km, orientada NW-SE coincidiendo con el cambio de tendencia de los Andes [11].

Diversos procesos de erosión y transporte de material sedimentario están presentes desde el borde de plataforma hasta el pie del talud. Generalmente traen como consecuencia la formación de distintos sistemas de valles submarinos, como son cañones y canales que poseen una actividad y unos rasgos morfológicos propios de la zona en la que se encuentran, e influenciados directamente por diversos procesos de origen sedimentario y

tectónico que afectan las adyacencias del área donde se desarrollan [12]

Los levantamientos que pueden registrarse como banco o bajos en la navegación son puestos a profundidades someras debido a la actividad tectónica y sísmica de la zona; éstas mesetas pueden asociarse a fragmentos de la corteza oceánica que se levantan a superficie como producto de la actividad y deformación propias de la zona de subducción.

2.7 Montaña submarina o monte submarino del Esmeraldas

Corresponde a una elevación o grupo de elevaciones anchas aisladas mayores de 1000 m en relieve por encima del fondo marino, característicamente de la forma cónica [1] (Figura 17).

La montaña submarina concurrente en el área de estudio presenta una altura aproximada de 1200 m, ocupa un área aproximada de 275 km² y se encuentra ubicada al norte del cañón Esmeraldas, alineada con la misma en dirección NE entre las coordenadas 1°41'30.58"N,

79°42'35.05"W y 1°49'50.73"N; 79°36'33.9"W. Estudios realizados con el uso de información sísmica de alta resolución al norte de Ecuador y sur de Colombia [3] muestran variaciones

estructurales y sedimentarias en lo que ellos llaman un acuífamiento que genera una acreción y empuje de los sedimentos, como consecuencia de esto ocurren los terremotos en el área.

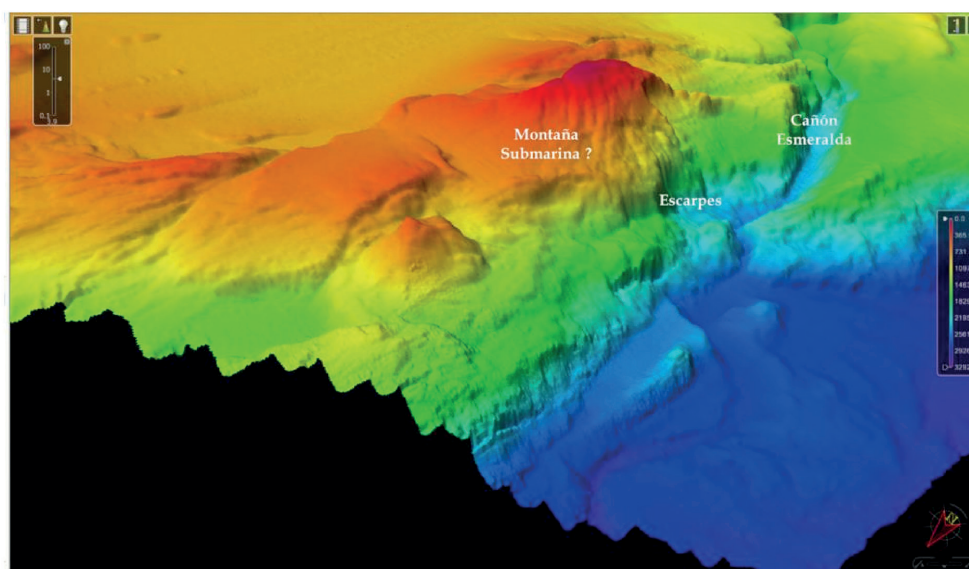


Figura 17. Montaña submarina en los alrededores del escarpe del Esmeraldas.

Los terremotos en la zona han puesto en evidencia algunas fallas o zonas de fracturas cercanas al cañón Esmeraldas y a la zona de Tumaco que han sido epicentro de terremotos desde 1906 ($M_w=8.8$), 1942 ($M_w=7.9$), 1958 ($M_w=7.8$) y 1979 ($M_w=8.2$) [3]. La interacción de las placas en la zona de subducción ha generado asimismo el levantamiento de zonas de acreción y replegamiento de capas de sedimentos presentes en la zona, que llevarían a la formación en superficie de lomeríos y montañas submarinas, así como el levantamiento significativo de escarpes propios de las zonas con alta actividad sísmica.

Si bien la definición de montaña submarina, de acuerdo con OHI [1], la establece como elevaciones anchas y aisladas, estas elevaciones en el caso del área estudiada se asocian posiblemente a la actividad tectónica de la zona que en conjunto con los procesos dinámicos que la rodean sufre procesos de transformación estructural y sedimentario que afectan de manera compleja y propician la formación de geoformas marinas de elevación y subsidencia.

2.8 Loma submarina

Elevación algo menor que un monte submarino y de forma redondeada, característicamente aisladas o como un grupo en el fondo marino [1] (Figura 18).

Localizada en las coordenadas 1°53'31.77" N, 79° 38' 26.17" W, en un área de 34571 km² y altura entre 494.92 m y 1085.85 m de profundidad, se ubica en las cercanías a las meseta submarina Mira, descrita anteriormente. Su forma cónica podría estar relacionada a asensos de flujos magmáticos y a la dinámica de la zona que estaría generando formaciones geológicas propias de los materiales ígneos y metamórficos (Figura 19).

Otro rasgo importante en el margen continental de las áreas estudiadas es el adelgazamiento del margen continental al norte del Pacífico colombiano, el cual presenta un ancho promedio de 50 km aproximadamente (Figura 19).

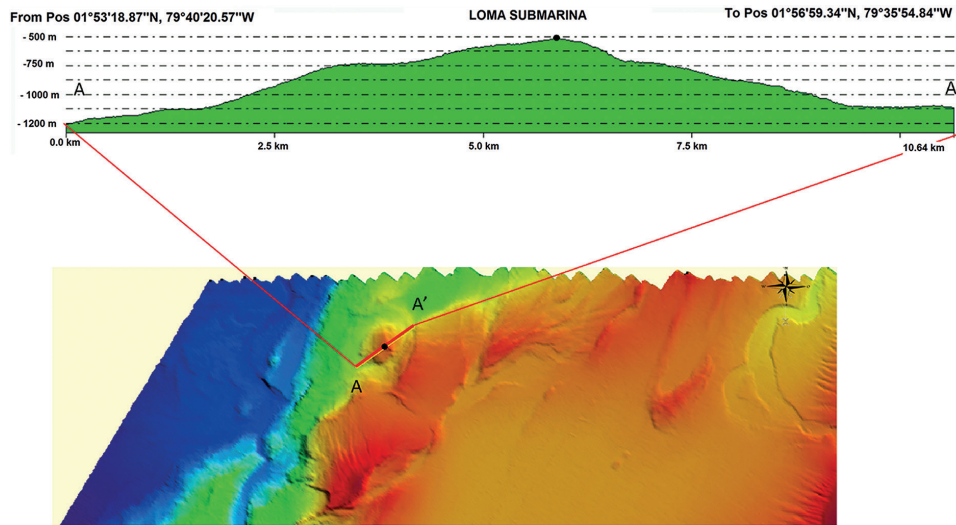


Figura 18. Loma submarina. El punto negro representa la zona más alta de la loma con una fisiografía relativamente redondeada y aislada.

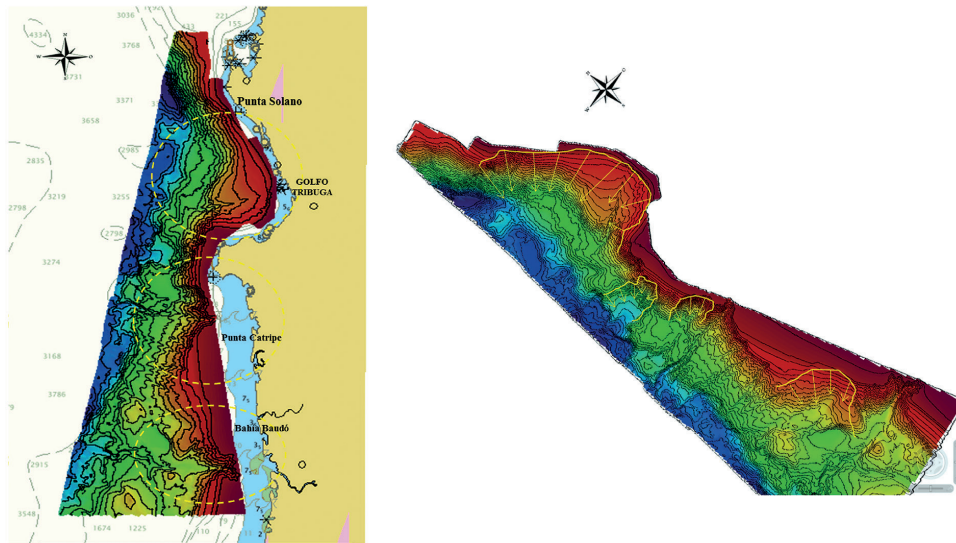


Figura 19. Localización (derecha) y cabeza (izquierda) de los deslizamientos del margen continental, sector ubicado entre Bahía Solano y límites con el departamento del Valle del Cauca.

Es posible observar los cañones submarinos de afluentes importantes; sin embargo, también se caracteriza por la variedad de canales producto de arrastres de material sedimentario. La cabecera de los deslizamientos muestra una reciente actividad de detritos, así como inestabilidad del material sedimentario y rocoso.

De acuerdo a la superficie batimétrica, el área está constituida por visibles zonas de deslizamientos en masa que presentan cabezas semicirculares con tamaños de 1158.6, 95.464, 119.15 y 246.68 km², aproximadamente; en una longitud de 207.27 km lineales a lo largo del margen continental comprendido entre el río

Decampadó y Bahía Solano. Las paredes de los escarpes de los cañones también se encuentran afectadas por rupturas menores a lo largo de los mismos, de tal forma que toda la zona constituye un área potencialmente inestable.

La generación de estas formas está asociada a una pendiente muy abrupta, la subducción de montes submarinos, subsidencia de capas y procesos erosivos; así como los levantamientos de estructuras a lo largo de márgenes tectónicamente activos representando un riesgo para las zonas costeras cercanas.

En este sentido, las ciudades costeras están expuestas a riesgos por tsunami si las pendientes submarinas son afectadas por colapsos de mediana a gran escala (mayores a 5 km de ancho) [13].

Los factores disparadores de los deslizamientos submarinos están asociados a uno o varios de los siguientes factores: una rápida acumulación de sedimentos, incremento de la pendiente, exceso de presión en los poros en sedimentos, alto esfuerzo físico relacionado con carga producida por ondas, tectónica y terremotos [14], variaciones eustáticas del nivel del mar y disociación de hidratos de gas [15].

CONCLUSIONES

La plataforma continental en el Pacífico colombiano debe su forma y espesor a la influencia de la actividad tectónica y a la interacción de la zona de subducción que presenta movimientos relativos entre las placas de Nazca y Cocos, y que refleja los esfuerzos deformantes de la zona. La deformación de la zona de subducción genera procesos de acreción y erosión que moldean el fondo marino. La constante actividad tectónica, el fracturamiento de la corteza y el aporte de sedimento es uno de los factores más importantes en la formación del relieve submarino.

El procesamiento de la información batimétrica en el Pacífico colombiano permitió la identificación de variadas geoformas submarinas tales como colinas, lomas, mesetas, cañones submarinos, cañones submarinos abandonados y montañas submarinas que fueron caracterizadas de acuerdo con la clasificación OHI [1] y la literatura de geología existente; sin embargo, se hace necesaria la obtención de información sísmica que permita determinar el comportamiento de las estructuras por debajo de la superficie oceánica.

La identificación de lomas y colinas, así como de las mesetas fue más clara mediante la elaboración de perfiles transversales a la estructura, en los cuales se observaron con claridad las características físicas que permitieron evaluar y observar la zona más alta de éstas, así como el tamaño y su altura.

Desde el punto de vista de la dinámica de la plataforma continental, el cañón submarino es una estructura geológica importante, sus paredes escarpadas y la morfología de valle en forma de "V" permiten su identificación mediante la información batimétrica. La generación de perfiles complementarios proporciona una idea de su pendiente; mientras que su continuidad y prolongación en el margen continental dependen en gran medida de la capacidad de carga, caudal y sedimentación provenientes de las zonas más altas de la estructura.

Los cañones submarinos antiguos o abandonados son estructuras que generan gran interés, toda vez que en la zona existe una actividad tectónica que pudiera estar generando una variación en los rumbos de los afluentes que le dieron origen. Su identificación se realizó a través de la huella de meandros discontinuos o interrumpidos que se observan en el fondo oceánico y que están siendo rellenados por sedimentos recientes provenientes del continente.

En relación con los canales y complejos de canales, son propios de las zonas de la plataforma continental debido a que es una zona activa donde los flujos de afluentes aportan gran cantidad de material sedimentario que se encauza mediante estas estructuras, llegando a formar o no abanicos submarinos.

Los deslizamientos de la zona norte y el adelgazamiento del margen continental son evidencias de la actividad tectónica. Estas zonas de deslizamientos, pueden convertirse en zonas de alto riesgo sísmico para las costas, debido a la formación de tsunami generados por los fenómenos de remoción en masa.

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos al geólogo José Henry Carvajal Perico de la Universidad Nacional de Bogotá, especialista en sensores remotos aplicados a la geología; con 30 años como investigador en el Servicio Geológico Colombiano (SGC) en el área de Geociencias

Básicas y experto en Geología, Geomorfología y Amenazas Costeras por sus valiosos aportes al mejoramiento de la investigación.

LITERATURA CITADA

- [1] Organización Hidrográfica Internacional. Normalización de las Formas del Relieve Submarino. Edición 4.1.0. Mónaco; septiembre 2013, junio 1 de 2015. Disponible en https://www.iho.int/iho_pubs/IHO.
- [2] Manchuel, K., Pontoise, B., Béthoux, N., Régnier, M., Font, Y., Sallares, V., Díaz, J., Arreaga-Vargas, P., Monfret, T. y Yepes, H, Sismicidad e implicaciones estructurales en el área de Esmeraldas (Norte de Ecuador): a partir de los experimentos Sublime y Esmeraldas. 2009. Pp. 167-179.
- [3] Collot, J., Charvis, P., Gutscher, M. y Operto, S. Exploring the Ecuador-Colombia Active Margin and Interplate Seismogenic Zone. *Eos Trans AGU*. 2002, 83(17): 185-192.
- [4] Gueorgui Ratzov¹, Marc Sosson¹, Jean Yves Collot¹, Sébastien Migeon¹, François Michaud¹, Eduardo Lopez¹ y Yves Le Gonidec¹. Deslizamientos submarinos a lo largo del margen convergente del Norte de Ecuador-Sur de Colombia. Posible Control Tectónico, Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador. 2009. pp 75-82.
- [5] Dimar-CIOH, Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, 2011. Carta Náutica Nacional No. 003, Colombia.
- [6] Dimar-CIOH, Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, 2009. Carta Náutica Nacional No. 032, Colombia.
- [7] Brothers, D., ten Brink, U., Andrews, B., Chaytor, J. y Twichell, D. Geomorphic process fingerprints in submarine canyons. *Marine Geology*, 2013, 337:53-66.
- [8] Collot, J., Marcaillou, B., Sage, F., Michaud, F., Agudelo, W. y Charvis, P. Are rupture zone limits of great subduction earthquakes controlled by upper plate structures? Evidence from multichannel seismic reflection data acquired across the northern Ecuador-southwest Colombia margin. *J Geophysics* Vol. 109 (B11103), 2004, pp, 1-14.
- [9] Sanclemente, E. Seismic imaging of the structure of the central Ecuador convergent margin: relationship with the inter-seismic coupling variations. *Earth Sciences*. Université Nice Sophia Antipolis. 2014.
- [10] M. Grant Gross, *Oceanographic* 5ta. Ed. 1990. Citado en Definition of ABYSSAL HILL. (2016). Merriam-webster.com. Retrieved 22 June 2015, from <http://www.merriam-webster.com/dictionary/abyssal%20hill>
- [11] Manchuel, K., Régnier, M., Béthoux, N., Font, Y., Sallarès, V. y Díaz, J. New insights on the interseismic active deformation along the North Ecuadorian-South Colombian (NESC) margin. *Tectonics* 2011, 30, TC4003, doi:10.1029/2010TC002757.
- [12] Arrieche, M. & Isabel, K. Sistemas turbidíticos del margen ibérico del Golfo de Valencia: interpretación de dos series de perfiles de sísmica de reflexión de gran longitud paralelas al margen (tesis). Universidad de Barcelona. Facultad de Geología. UPC. Escuela Técnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. 2003.
- [13] McAdoo y Watts. 2004. von Huene et al., 1989; citado por Gueorgui Ratzov¹, Marc Sosson¹, Jean Yves Collot¹, Sébastien Migeon¹, François Michaud¹, Eduardo Lopez¹, Yves Le Gonidec¹ 2009. En Deslizamientos submarinos a lo largo del margen convergente del Norte de Ecuador-Sur de Colombia. Posible Control Tectónico, Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador, PSE-001-: pp. 75-82.
- [14] Hampton, M.A., Lee, H.J. y Locat, J. Submarine Landslides, Review of Geophysics, 1996, Vol. 34, 33-59.
- [15] Maslin, M., Mikkelsen, N., Vilela, C. & Haq, B. Sea-level and gas hydrate controlled catastrophic sediment failures of the Amazon Fan, *Geology* 1998, Vol. 26, 1107-1110.