ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"MORFOLOGÍA Y EVOLUCIÓN TECTO-SEDIMENTARIA DEL CAÑÓN SUBMARINO DE ESMERALDAS A PARTIR DE DATOS BATIMÉTRICOS Y DE SÍSMICA DE ALTA RESOLUCIÓN"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA

Presentado por:

Mayra Marisela Moreno Piña

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

A G R A D E C I M I E N T O

A Dios por su infinita bondad, Su misericordia me ha permitido cumplir esta meta.

A mis padres y mi hermano que me han apoyado incondicionalmente en cada sueño que he tenido.

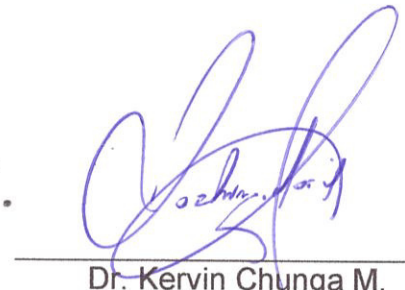
A mis profesores que han impartido sus conocimientos, en especial a la Msc. Glenda Loayza por su asesoramiento y estímulo para durante todo este período.

Un especial agradecimiento para el Instituto Oceanográfico de la Armada, al soporte técnico del CPFG-EMT Andrés Pazmiño y el TNNV-SU Marco Santos; al igual que al Dr. Jean Yves Renaud por la colaboración en el desarrollo de la investigación.

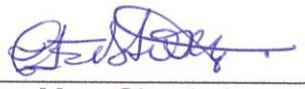
D E D I C A T O R I A

A Dios, mi familia y amigos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Dr. Kervin Chunga M.
PRESIDENTE

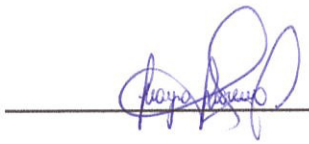


Msc. Glenda Loayza T.
DIRECTORA DE TESIS

Ing. Edison Navarrete C.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"



Mayra Marisela Moreno Piña

RESUMEN

La presente investigación se ha desarrollado en el Margen Norte de Ecuador, en el Cañón Submarino de Esmeradas, que se asienta en la plataforma, atravesando el talud, hasta llegar a la fosa, con la finalidad de analizar la morfología y los estratos sedimentarios superficiales que permitan identificar los procesos tectónicos y sedimentarios ocurridos durante el cuaternario.

El INOCAR mediante el proyecto MARGE realizó levantamientos de datos batimétricos usando equipos multihaz, así como también perfiles sísmicos utilizando equipos de sísmica de reflexión de alta resolución (Sparker). A partir de los datos obtenidos se realizó el procesamiento e interpretación aplicando dos softwares: ArcGis y Geosuite para la información batimétrica y sísmica respectivamente.

El análisis de los datos obtenidos ha permitido caracterizar geomorfológicamente el fondo marino en el sector del Cañón Submarino de Esmeraldas, así como también identificar las facies sedimentarias presentes a lo largo de esta zona del margen, con la finalidad de estudiar la evolución de la actividad tectono-sedimentaria que ha tenido lugar en el cañón de Esmeraldas y cómo ésta ha afectado a la depositación de sedimentos,

además de cómo estos fenómenos pueden llegar a ser zonas con potenciales riesgos geológicos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN vi

ÍNDICE GENERAL viii

ABREVIATURAS xi

SIMBOLOGÍA xii

ÍNDICE DE FIGURA xiii

ÍNDICE DE TABLAS xviii

CAPÍTULO 1 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1 Objetivos 1

1.2 Importancia y Justificación del Estudio 2

1.3 Área de Estudio 3

CAPÍTULO 2 5

CONTEXTO GEODINÁMICO Y GEOLÓGICO 5

2.1 Marco Geodinámico y Morfológico del Margen Continental del Ecuador 5

2.2 Morfología Local 9

2.3 Marco Geológico Local 11

2.4 Aspectos Oceanográficos 14

2.5 Variación del Nivel del Mar 16

CAPÍTULO 3 19

DATOS Y METODOLOGÍA 19

3.1 Adquisión de Datos 19

3.2 Procesamiento de Datos 23

3.3 Interpretación de Datos 28

CAPÍTULO 4 32

ANÁLISIS Y RESULTADOS 32

4.1 Análisis de Batimetría. 32

4.1.1 Caracterización Geomorfológica del Fondo Marino 32

4.2 Análisis de Perfiles Sísmicos 41

4.2.1 Descripción de Unidades y Facies Sísmicas 42

4.2.2 Correlación a escala del Margen 56

4.2.3 Análisis y Correlación Estructural 60

CAPÍTULO 5 64

INTEGRACIÓN MORFOLÓGICA Y SÍSMICA PARA LA INTERPRETACIÓN DE ZONAS TECTÓNICAS ACTIVAS 64

5.1 Evolución Tectónica. 64

5.2 Edad Relativa de las Unidades Sísmicas Reconocidas 68

5.3 Principales Rasgos Geomorfológicos del área 69

5.4 Áreas con potenciales peligros geológicos 73

CAPÍTULO 6 77

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 77

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ABREVIATURAS

CDP	Common Depth Point
cm/año	Centímetros por año
DEM	Digital Elevation Model
Fm.	Formación
GPS	Global Position System
Ka	Mil años
kHz	Kilohertz
km	Kilómetros
km^2	Kilómetros cuadrados
m	Metros
Ma	Millones de años
MDT	Modelo digital del terreno
ms	Milisegundos
NMO	Normal Moveout
ppt	Parts per thousand / Partes por mil
TWTT	Two way travel time / tiempo doble de viaje
s.s.	Sensu stricto
3D	Tres dimensiones

SIMBOLOGÍA

~	Aproximado
E	Este
°	Grados
‘	Minutos
N	Norte
NNE	Nor-noreste
NNW	Nor-noroeste
S	Sur
W	Oeste

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio al Norte de Esmeraldas. ...4

Figura 2. Límite del bloque Nor-Andino. 6

Figura 3. Ubicación de los segmentos del Margen Continental de acuerdo a Gutster. 8

Figura 4. Batimetría del Margen del Norte de Ecuador y Sur de Colombia. Indica la ubicación del Promontorio de Atacames y El Cañón de Esmeraldas 10

Figura 5. Mapa Geológico delimitando las zonas de la Cuenca Esmeraldas. 11

Figura 6. Mapa Geológico de la Cuenca Borbor. 12

Figura 7. Columna estratigráfica del pozo Camarones (Fuente: Silva P., 2007, Tesis de grado) 14

Figura 8. Corrientes que se generan en la Margen Ecuatoriano. 15

Figura 9. Evolución del nivel del mar durante el último ciclo glacial (A) y el período de glaciación de estados isotópicos (B). 17

Figura 10. Esquema del sistema ecosonda. 20

Figura 11. Diagrama de Buque y Geometría. 21

Figura 12. Diagrama para la depuración de datos batimétricos y sísmicos. En la izquierda muestra el esquema de procesamiento batimétrico, y a la derecha el esquema de procesamiento sísmico. 24

Figura 13. Tipos de filtros dependiendo del rango de frecuencia 25

Figura 14. Sección sísmica procesada del proyecto MARGE, perfil L15. **A)** Señal de entrada, **B)** filtrada con IIR, **C)** Incremento de amplitud usando AGC, **D)** Elimina la columna de agua, usando Mute, **E)** Deconvolución, atenuando los múltiples. 27

Figura 15. Patrones de configuración de reflectores. 30

Figura 16. Tipos de terminaciones de reflexiones. 30

Figura 17. Ubicación del área de Estudio: Cañón Submarino del río Esmeraldas y la Plataforma Norte del cañón submarino de Esmeraldas. 33

Figura 18. A) Mapa de direcciones predominantes de la trayectoria a lo largo de los cuatro segmentos del cañón submarino de Esmeraldas; **B)** MDT de la batimetría del cañón submarino de Esmeraldas. 34

Figura 19. Mapa de Pendientes del Cañón Submarino de Esmeraldas.....35

Figura 20. A) Caracterización morfológica del Cañón Submarino de Esmeraldas **B)** Niveles de Terrazas identificados, basados en la batimetría de alta resolución.....39

Figura 21. Mapa de orientación de la pendiente, identifica rasgos estructurales de erosión producido por acción de las olas y/o gravedad al Norte del Cañón submarino de Esmeraldas.....40

Figura 22. Ubicación de los perfiles sísmicos adquiridos en la Plataforma de Esmeraldas. (Levantamiento Sísmico – Octubre 2013). 42

Figura 23. Sección sísmica que identifica la Unidad “Ua”, perfil L1-Anexo A. 44

Figura 24. Sección sísmica que identifica la Unidad “Ub”, perfil L15. 45

Figura 25. Sección sísmica que identifica la Unidad “Uc”, perfil L22-1- Anexo E.....46

Figura 26. Sección sísmica que identifica las facies sísmicas F1d – F5d, perfil L26.....48

Figura 27. Sección sísmica que identifica unidad “Ue”, perfil L27-Anexo K..49

Figura 28. Sección sísmica que identifica las facies F1f – F4f, perfil L28 – Anexo L. 51

Figura 29. Sección sísmica que identifica las facies F1g – F4g, perfil L28 – Anexo L. 52

Figura 30. Mapa de ubicación de los perfiles sísmicos correlacionados (color verde y amarillo). Los perfiles en color negro no han sido posible correlacionar las facies y unidades sísmicas. 56

Figura 31. Sección símica – Perfil L1d, donde se puede observar la Unidad “Ua”, compuesta por las cuatro facies de F1 a F4. 57

Figura 32. Sección sísmica del perfil L26, zona de ondas sedimentarias.....59

Figura 33. Sección sísmica del perfil L27, que muestra los paleocanales tributarios A, B, C y D localizados al margen izquierdo del lecho cañón de Esmeraldas. La unidad “Ue” corresponde a la unidad de relleno del canal A. 60

Figura 34. Sección sísmica del perfil L15, identifica la unidad “Ub”, sobre un anticlinal truncado. 62

Figura 35. Sección sísmica que identifica la depositación de las unidades “Ua” y “Ub” afectadas por la presencia de un anticlinal que ha sido truncado 65

Figura 36. Esquema que identifica la depositación de las unidades “Ua” y “Ub” afectadas por la presencia de un anticlinal que ha sido truncado y la posible trayectoria del paleocanal 66

Figura 37. Etapas de tectonismo usando el perfil L24-2. (A) Primera etapa de plegamiento; (B) Deposición sin deformación, pre-plegamiento; (C) Segunda etapa de plegamiento 68

Figura 38. Ubicación de los principales rasgos geomorfológicos del cañón submarino. 70

Figura 39. A) Imagen sísmica que muestra los paleocanales en un paleomeandro **B)** MDT del paleomeandro A, indicando los paleocanales encontrados en el perfil L22-1 71

Figura 40. Paleomeandro que ha sufrido una continua erosión. Las flechas de color naranja indican la dirección del deslizamiento.....71

Figura 41. Rasgos Geomorfológicos indicando un antiguo deslizamiento en forma de U (B) y el bloque gravitacional (D) ubicados en el flanco derecho del cañón y marcan las estrías de deslizamiento. 73

Figura 42. Mapa de localización de Fallas superficiales identificadas en los perfiles sísmicos Sparker a lo largo de la plataforma y el cañón de Esmeraldas, proyecto MARGE. 74

Figura 43. Imagen 3D con la ubicación del perfil L26 sobre una zona de slumps 75

Figura 44. Mapa de ubicación de áreas inestables, basado en la información sísmica y batimétrica del Proyecto MARGE, y la batimetría de la Campaña AMADEUS. 76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Niveles de Terrazas del cañón submarino 39

Tabla II Perfiles sísmicos adquiridos en la zona de Esmeraldas para el proyecto MARGE. 41

Tabla III Características de las facies sísmicas encontradas en la Plataforma y Cañón Submarino de Esmeraldas. 53

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

Objetivo General

Analizar la morfología y los estratos superficiales que permitan identificar los procesos tectónicos y sedimentarios del Cañón Submarino de Esmeraldas durante el cuaternario, para establecer zonas con potenciales peligros geológicos, mediante datos de batimetría y sísmica de alta resolución.

Objetivos Específicos

1. Determinar las características morfológicas del lecho marino de Esmeraldas utilizando datos batimétricos, con la finalidad de identificar zonas de potenciales peligros geológicos asociados.

2. Identificar las estructuras y fallas geológicas del subsuelo haciendo uso de datos de sísmica de reflexión monocanal superficial de alta resolución e integrar con la morfología para determinar zonas activas tectónicas.

3. Identificar secuencias de depósitos asociadas a las variaciones eustáticas del nivel del mar como posibles indicadores de cambio climático, mediante información sísmica.

4. Establecer las edades relativas de las unidades estratigráficas correspondientes al cuaternario mediante perfiles sísmicos superficiales.

1.2 Importancia y Justificación del Estudio

Ecuador es un país tectónicamente activo, debido a la convergencia de la placa de Nazca debajo de la Sudamericana, y por consecuencia una zona de gran intensidad sísmica y volcánica, lo que lo vuelve vulnerable a peligros geológicos tanto en el continente como en su parte marina.

Este estudio pretende definir los lugares de los posibles peligros geológicos que pueden ocurrir en el dominio marino de Esmeraldas, a través de un análisis en la morfología y la tectónica en base a datos batimétricos y perfiles sísmicos adquiridos durante la campaña científica del Proyecto

"*Estudio de la Evolución Tectónica y Sedimentaria reciente del Margen Continental del Golfo de Guayaquil y Esmeraldas a partir de datos de Geofísica y Geología Marina"* MARGE promovida por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR).

La información de las líneas sísmica adquirida alcanzó cerca de los 60 km. La sísmica usada es de muy alta resolución lo cual permitirá analizar los sedimentos marinos más superficiales a partir del cuaternario; y a la vez integrando la batimetría se determinará zonas de actividad tectónica.

1.3 Área de Estudio

El margen continental de Esmeraldas está ubicado a Norte del Ecuador; el área de estudio está localizado entre las latitudes 1°24' N y 0°52' N (Figura 1), comprende la plataforma continental, cuya superficie se extiende hasta los 4400 km^2.

Uno de los mayores rasgos dentro de ésta zona es el cañón submarino de río Esmeraldas

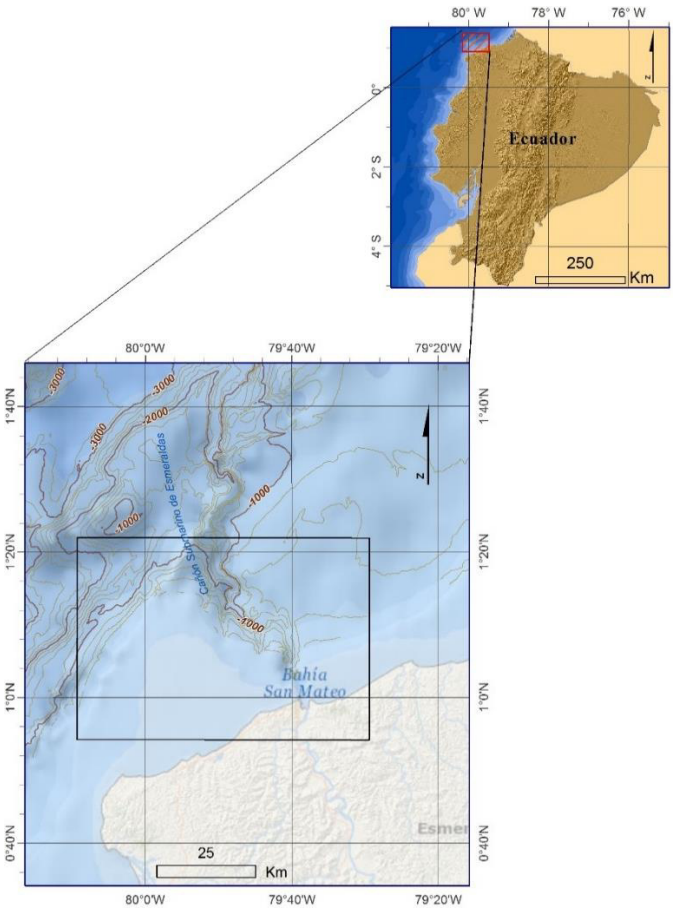


Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio al Norte de Esmeraldas.

Los perfiles sísmicos cubren la zona del cañón submarino de Esmeraldas, la plataforma de Esmeraldas hacia el norte y sur con respecto al cañón, mientras que la batimetría comprende mayormente el cañón submarino y el norte de la plataforma de Esmeraldas.

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEODINÁMICO Y GEOLÓGICO

2.1 Marco Geodinámico y Morfológico del Margen Continental del Ecuador

El Ecuador se encuentra ubicado en las latitudes de 3,0°N – 3,5°S; es un país tectónicamente activo debido a la subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana a una velocidad de 6 – 7 cm/año con una dirección N80°E (Demets et al, 1990), produciendo una deformación vertical a lo largo de las zonas costeras de América del Sur.

La placa Sudamericana se encuentra segmentada por un sistema de fallas Guayaquil – Dolores que origina el escape del bloque Nor-Andino que escapa con relación a la placa Sudamericana estable hacia el NNE a lo largo de este sistema de fallas (Case et al., 1971; Ego et al., 1995). El Bloque Nor-Andino se ha desarrollado a lo largo de Ecuador, Colombia y

Venezuela desplazándose hacia el norte aproximadamente 1 cm/año a lo largo de un sistema dextral complejo (Trenkamp et al., 2002), Figura 2.

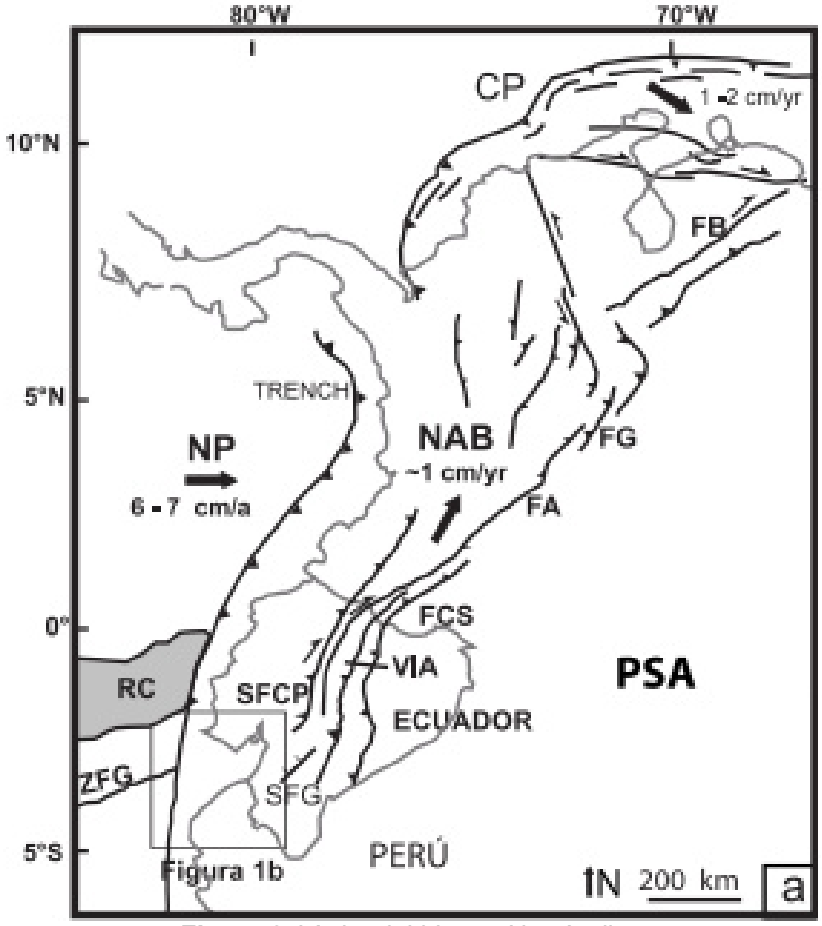


Figura 2. Límite del bloque Nor-Andino.
(Fuente: Geología y geofísica marina y terrestre del Ecuador, Modificado de Toboada et al. 2000)

Gutscher et al. (1999) divide el Margen Continental en tres segmentos basado en las estructuras internas de la velocidad, en las variaciones de las distancias fosa – línea de costa, y los cambios remarcables de las morfo-estructuras:

El Segmento Norte ubicado en las latitudes 1°- 3°N, con una profundidad de 600 metros y 90 kilómetros de ancho, cuya morfología está limitada hacia el continente por un área de subsidencia costera; y sus aportaciones sedimentarias provenientes de los Andes alcanzan la fosa.

El Segmento Central localizado en las latitudes 1°N - 2,5°S, desde Punta Salinas hasta al norte de la Punta Galera, muestra a la Cordillera de Carnegie con profundidades superficiales menores a 100 metros. Las terrazas marinas cuaternarias indican una elevación de la costa en este segmento.

El Segmento Sur ubicado en las latitudes 2,5°- 3,5°S. El escape del Bloque Nor-Andino en dirección NNE da como resultado una ensenada amplia y suave de este segmento sur (J. Collot et al., 2009). La costa somera coincide con la rápida subsidencia, el pull-apart, la cuenca sedimentaria del Mioceno del Golfo de Guayaquil, que entrampa gran cantidad de sedimentos derivados de los Andes (Figura 3).

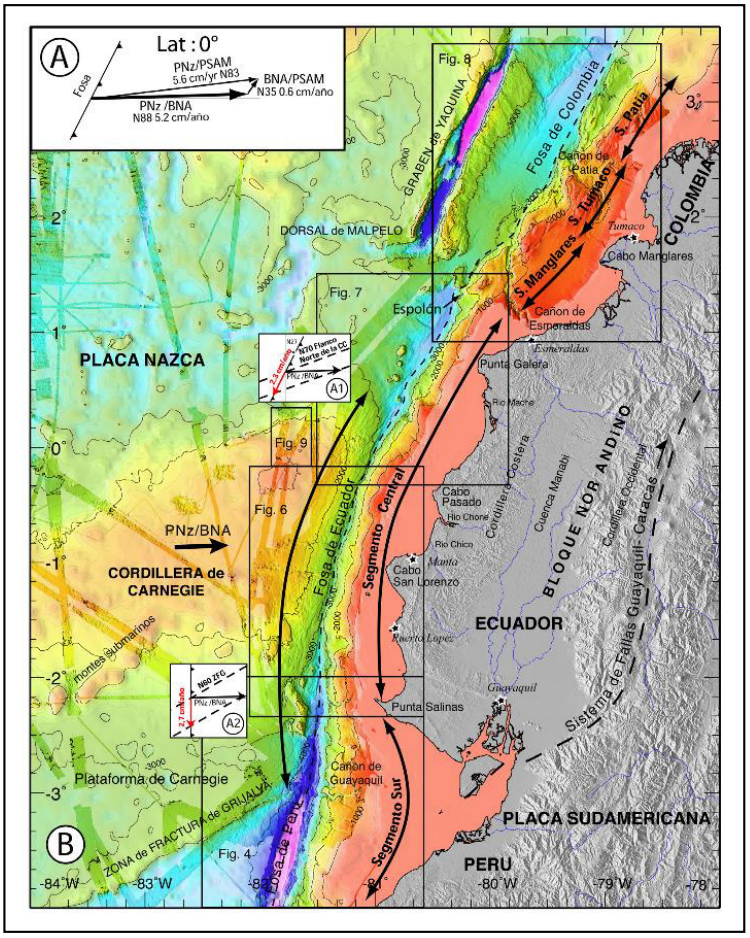


Figura 3. Ubicación de los segmentos del Margen Continental de acuerdo a Gutster. (Fuente: Geología y geofísica marina y terrestre del Ecuador, Collot et al., 2009).

El Margen continental está comprendido por la plataforma continental y el talud continental. La Plataforma Continental se muestra muy angosta, con un ancho promedio de 54 millas náuticas, teniendo el Golfo de Guayaquil la mayor extensión (95 millas náuticas) de la plataforma. El Talud Continental tiene una morfología muy variada a lo largo de todo el margen y la extensión del talud presenta diferentes dimensiones, aproximadamente 70 km hacia el segmento sur del margen, entre 25 a 50 km en el segmento central del margen y hacia el norte alcanza hasta 100 km. El talud sufre tres incisiones

que corresponden, de Norte a Sur a los cañones de Esmeraldas, Santa Elena y Guayaquil. El talud buza suavemente hacia la fosa en el segmento sur, y alcanza hasta 3.2° de pendiente al sur del Cañón de Santa Elena (Collot et al. 2009). El talud se halla relativamente suave hacia el sur cañón de Guayaquil controlado por la presencia de fallas y un prisma de acreción, mientras que hacia el norte del talud se evidencia un prisma frontal que no se ha desarrollado. El segmento central es afectado por grandes escarpes con pendiente mayores a 20°, montículos y formas onduladas vistas en el talud medio hasta el inferior; según Villamar (2001) una cordillera pequeña con dirección NS deforma el talud superior, y se encuentra afectada por fallas normales lístricas y se evidencia por los escarpes arqueados al sur de la cordillera. En este segmento la morfología es más simple entre las latitudes 1°35'S y ~0°, alberga un promontorio de profundidad entre 500-550 m y sobre este se evidencia un cañón antiguo (Figura 3).

2.2 Morfología Local

El área de estudio abarca dos zonas (Figura 4) que por su forma se las describe a continuación:

- *Promontorio de Atacames:* En la Plataforma de Esmeraldas, hacia el Noreste de Punta Galera se observa una planicie aluvial de forma cóncava hacia el mar, que se extiende hasta aproximadamente 45 km

hacia el dominio marino. La pendiente del margen hacia el oeste del Promontorio de Atacames es aproximadamente 9° con una profundidad de 3900 m en la fosa (Collot et al., 2005).

- *Cañón de Esmeraldas:* La cabecera del cañón se encuentra cerca de la desembocadura del río Esmeraldas, e incisa aproximadamente 130 km la plataforma y el talud con profundidades máximas de ~2750 m. Los segmentos del cañón son lineales y sinuosos, con cambios de dirección de NS a NW y NW a NS que sugieren un control tectónico (Collot et al., 2005). La alta actividad erosiva se refleja en sus paredes empinadas de 300 a 1200 m de alto.

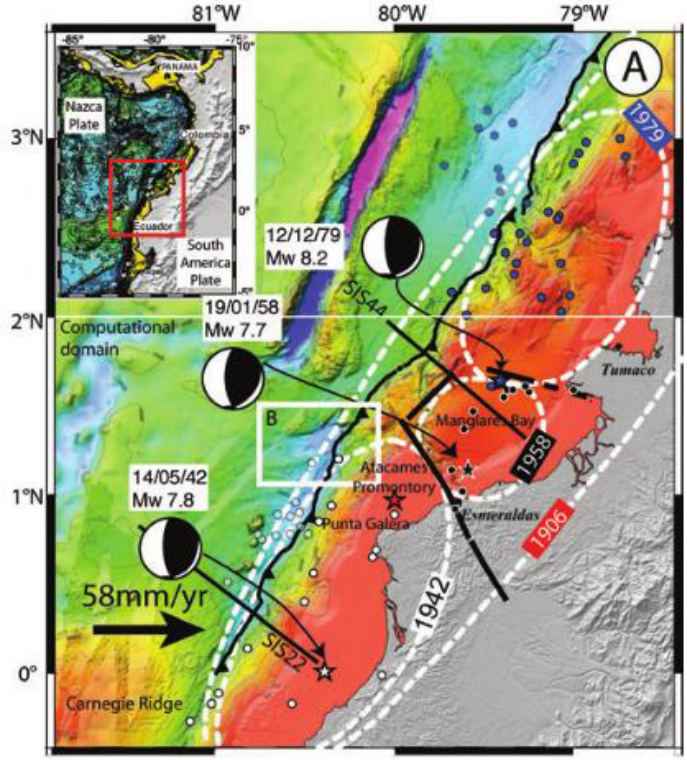


Figura 4. Batimetría del Margen del Norte de Ecuador y Sur de Colombia. Indica la ubicación del Promontorio de Atacames y El Cañón de Esmeraldas (Fuente: Ioualalen et al., 2010).

2.3 Marco Geológico Local

La cuenca de Esmeraldas de acuerdo a Savoyat et al. (1970) se encuentra dividida en:

- Zona Occidental: comprende la cuenca de Esmeraldas s.s., con un sinclinal en dirección W – SW – E – NE, que se eleva formando un anticlinal poco marcado.
- Zona Central: conformado por los Horsts Punta Ostiones, del río Verde y del río Cube.
- Zona Nororiental: que corresponde a la cuenca Borbón .

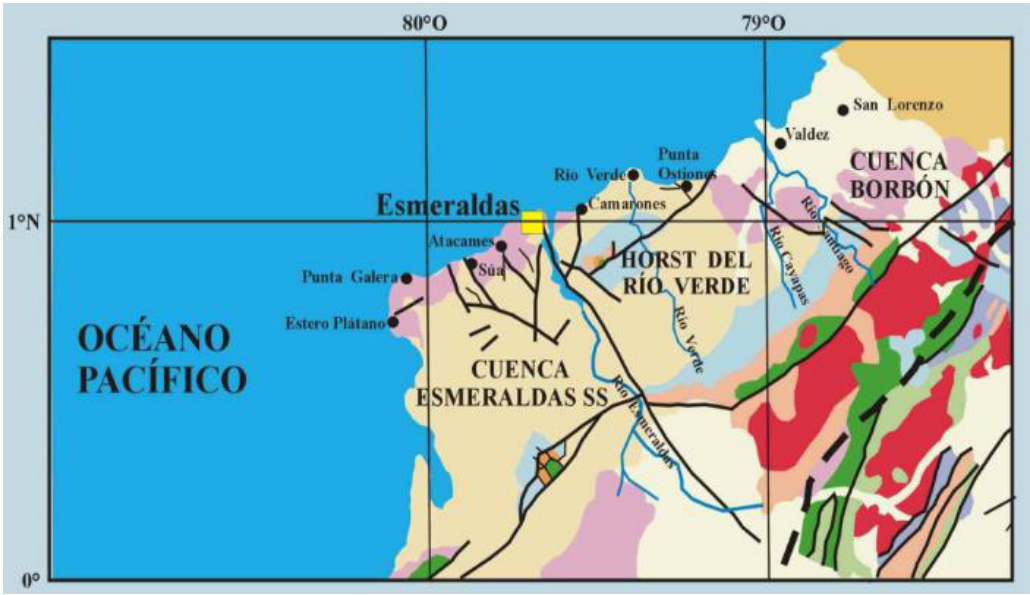


Figura 5. Mapa Geológico delimitando las zonas de la Cuenca Esmeraldas.
(Fuente: Micropaleontología Ecuatoriana, Modificado de DINAGE – BGS, 1993)

La cuenca Borbón se encuentra limitada por una falla de dirección NO – SE que la separa de la zona central (Figura 5). La geología de la cuenca Borbón en el área de Esmeraldas está conformada por un basamento ígneo que

corresponde a la formación Piñón (KPñ) del Cretácico superior (89 Ma; Luzieux et al., 2006), y se encuentra cubierto por rocas sedimentarias de origen marino y continental, con edades que varían desde el Cretácico hasta el Cuaternario (Figura 6).

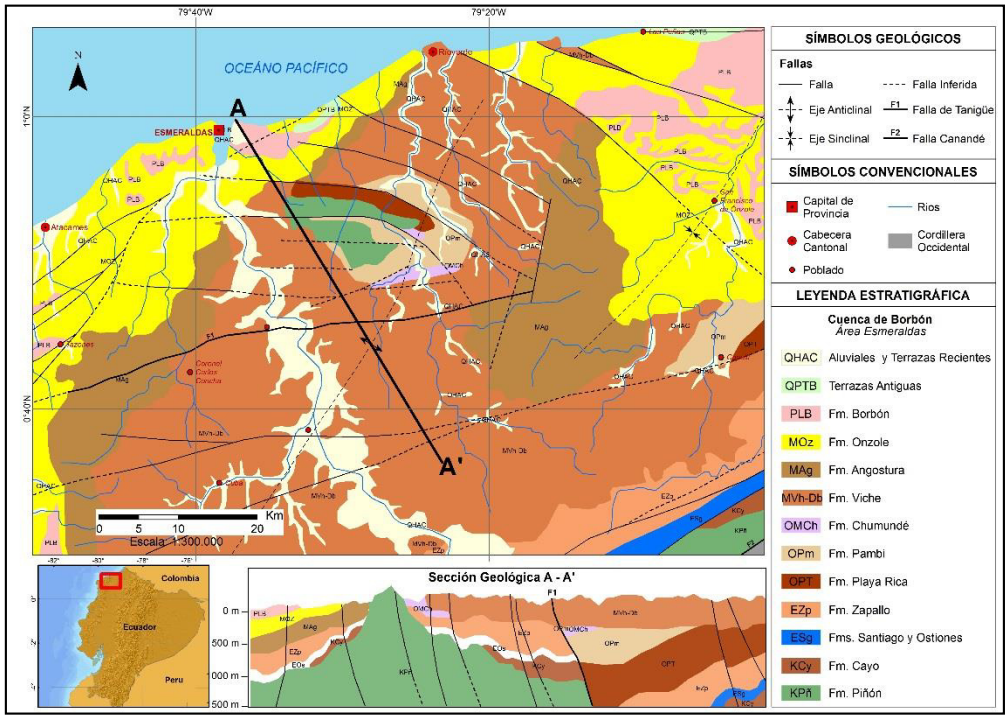


Figura 6. Mapa Geológico de la Cuenca Borbor.
Fuente:Mapa Geológico de la Margen Costera Ecuatoriana (Reyes P. & Michaud F., 2012).

La estratigrafía sísmica de alta resolución permite registrar el subsuelo hasta profundidades que corresponderían a edades desde el Mioceno hasta el Cuaternario. Por consiguiente la estratigrafía (Figura 7) que se describe es la siguiente:

- *Formación Onzole:* (Mioceno medio – Plioceno) (Stainforth, 1948). Constituida por dos miembros: Onzole Inferior y Onzole Superior que

sobreyace en concordancia sobre la Fm. Angostura, y en discordancia entre sí. El miembro inferior tiene un espesor entre 300 a 800 m. Compuesto por lodolitas limosas, con intercalaciones de areniscas pobremente gradadas. El miembro Onzole Superior conformada por turbiditas pelíticas de grano fino (Aalto y Miller, 1999).

- *Formación Borbón:* (Plioceno – Pleistoceno Inf.). Constituida por tres miembros: clástico inferior, volcánico-clástico medio y volcánico superior. El miembro clástico inferior sobreyace en concordancia a la formación Ónzole y comprende areniscas masivas con lentes de conglomerado. El miembro volcánico-clástico medio compuesto por niveles de areniscas y conglomerados e intercalados por niveles de tobas. El miembro volcánico superior formado por niveles de brechas y tobas volcánicas durante el Pleistoceno Inferior.

- *Formación Cachabí:* (Cuaternario) (Smith en Mosquera, 1949). Descansa sobre la formación Borbón y al oeste está cubierta por aluviones recientes. Compuesta de arenisca azul y ceniza, con menores proporciones de aglomerado y conglomerado.

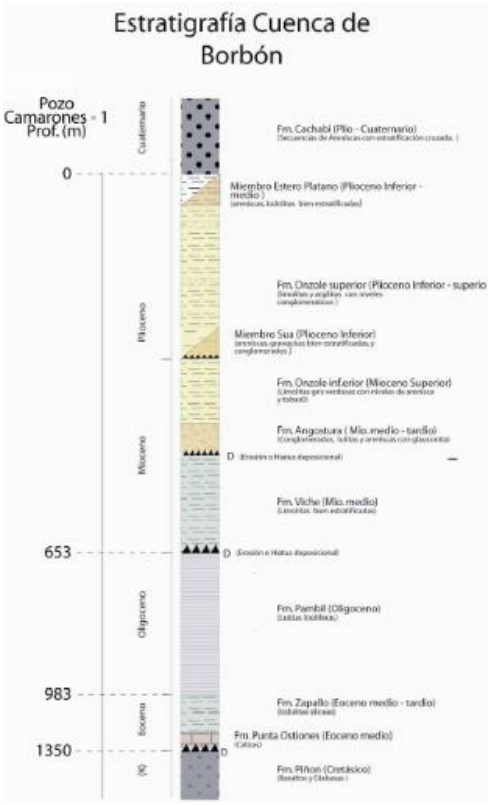


Figura 7. Columna estratigráfica del pozo Camarones (Fuente: Silva P., 2007, Tesis de grado)

2.4 Aspectos Oceanográficos

El frente oceánico se define como una banda a lo largo de la superficie del mar a través de la cual la densidad cambia bruscamente, incluso la temperatura y salinidad (Cromwell y Reid, 1956). El frente Ecuatorial (0° - 3° S) separa las Corriente de Humboldt y su extensión, la Corriente Sur Ecuatorial; según Wooster (1969) la posición promedio del Frente Ecuatorial es una región limítrofe entre la Corriente del Perú y la Cuenca de Panamá (Figura 8).

El Frente se presenta durante el invierno austral en aguas ecuatorianas, cuando los vientos del Sureste incrementan, y el flujo hacia el Noroeste de la corriente de Humboldt aumenta. La distribución zonal comprende desde aproximadamente 2°S hacia el noroeste de la Costa Ecuatoriana. Mientras que en el verano, el Frente se manifiesta débil y replegado al Sur, sobre la Costa Peruana.

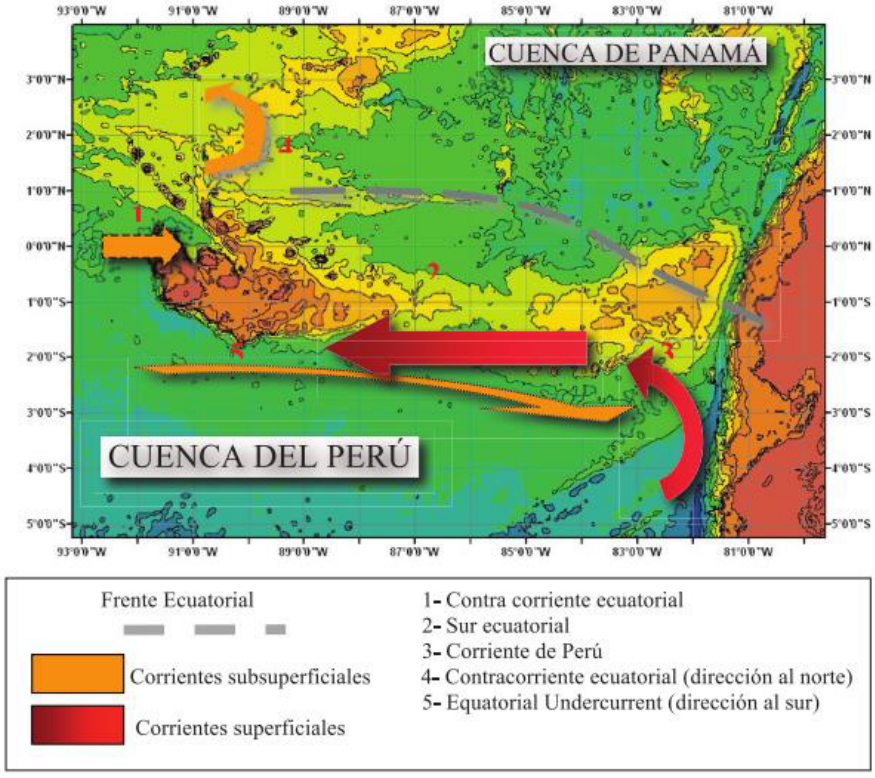


Figura 8. Corrientes que se generan en la Margen Ecuatoriano.
(Fuente: Geología y geofísica marina y terrestre del Ecuador, Pazmiño, 2005).

En la cuenca de Panamá la superficie de agua tiene temperaturas calientes (un promedio de 28°C) y baja salinidad (~34 ppt); mientras que en el sur del Ecuador, la temperatura es ligeramente baja (27°C) y la salinidad es localmente máxima (34,6 ppt) (Tsuchiya et al., 1998).

La circulación subsuperficial muestra un flujo hacia el norte sobre los 400 m relacionados con la Corriente de Perú, y un flujo hacia el oeste relacionado a los vientos que afectan áreas cercanas al Ecuador. En la Cuenca de Panamá se produce un influjo debido al movimiento de aguas profundas hacia el norte en la parte Este del ridge.

2.5 Variación del Nivel del Mar

Las variaciones del nivel del mar definen la duración y el tiempo de los períodos interglaciales (Stirling et al., 1998). Durante el Cuaternario, los cambios del nivel del mar se atribuyen a los efectos eustáticos e isostáticos. Los cambios eustáticos son variaciones globales del nivel del mar que se pueden ver afectados por el tamaño de los casquetes polares. Los efectos isostáticos son regionales y se deben a un movimiento en la corteza terrestre causados por los cambios en la carga del agua de los océanos y casquetes; cambios gravitacionales debido a la redistribución interna y superficial (hielo y agua) durante los ciclos glaciales; y la variación de altura de los océanos debido a la circulación de los océanos.

Según Lambeck and Chappell (2001) los procedimientos para determinar los registros de nivel del mar por contribuciones eustáticas e isostáticas se basan en las variaciones de isótopos de oxígeno en los sedimentos de aguas profundas, dataciones de líneas de costa y arrecifes de coral.

Para determinar el nivel del mar se toman registros continuos del radio de isótopos de oxígeno en los sedimentos marinos, se basan en una estratigrafía sedimentaria marina estándar donde se explican los ciclos glaciales. Tanto los picos como los valles en estos registros se asignan a un número de edad marina de isótopos (Marine isotope stage, MIS).

Durante el MIS 3 (60 – 25 Ka BP) ocurrieron rápidas oscilaciones del nivel de mar que se conocen como Dansgaard – Oeschger (D-O) intercalados con períodos de frío, hasta llegar a la Última Glaciación (según Van Meerbeeck entre 21 y 18 Ka) incluida en MIS 2. Para esta última glaciación, Waelbroeck define un descenso de hasta ~120 m en relación al nivel del mar actual.

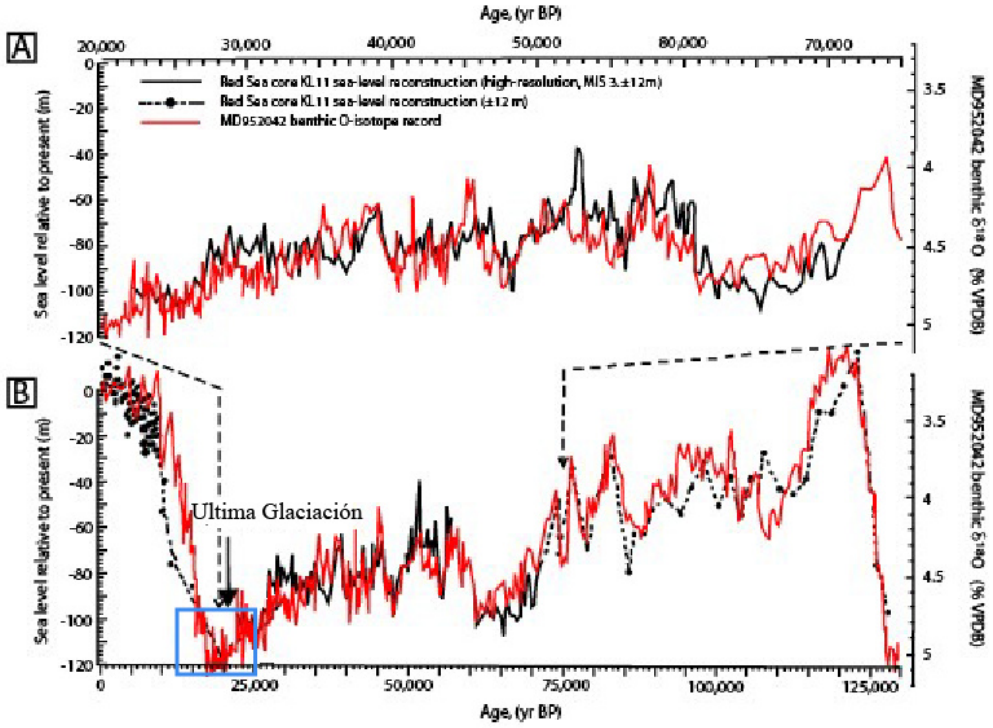


Figura 9. Evolución del nivel del mar durante el último ciclo glacial (A) y el período de glaciación de estados isotópicos (B).
(Fuente: Modificado según Siddall et al., 2003).

Durante el Holoceno, en la última deglaciación ha existido una variación geográfica sustancial en el nivel del mar durante los últimos 10 ka, desde los cambios eustáticos lentos con la desaparición de los casquetes del hemisferio norte (Woodroffe et al., 2013), manteniéndose estable durante los últimos 7000 años, aunque es posible que existan fluctuaciones de mayor frecuencia locales de nivel del mar.

CAPÍTULO 3

DATOS Y METODOLOGÍA

Este capítulo abarcará los métodos de adquisición, procesamiento y las bases para la interpretación de los datos batimétricos y sísmicos; que son los métodos utilizados durante este proyecto.

3.1 Adquisión de Datos

La adquisición de los datos de batimetría y sísmica de la Plataforma de Esmeraldas se realizó durante la campaña Geológica a bordo del BAE Orión en el marco del Proyecto denominado "*Estudio de la Evolución Tectónica y Sedimentaria reciente del Margen Continental del Golfo de Guayaquil y Esmeraldas a partir de datos de Geofísica y Geología Marina"* (MARGE), en Octubre del 2013.

Los métodos para la adquisición batimétrica y sísmica emplean instrumentos acústicos que contienen receptores sensibles a las frecuencias que son emitidas. Dependiendo del propósito de estudio se pueden usar: frecuencias

altas para determinar la morfología, y frecuencias bajas para obtener la información del subsuelo.

3.1.1 Adquisición de Datos Batimétricos

Los datos batimétricos adquiridos fueron levantados utilizando el Sistema de ecosonda Multibeam Kongsberg EM302, instalado en la plataforma de investigación la LAE Procyon. Éste sistema de ecosondas trabaja con frecuencias de 30 kHz, que puede llegar hasta profundidades de hasta 7000 m, pero en el caso de Esmeraldas la profundidad máxima adquirida en este estudio fue de ~1450 m.

El arreglo de este sistema multihaz consta de transductores - emisores colocados de proa a popa, y los transductores receptores orientados de estribor a babor. Los transductores emisores emiten la onda acústica en dirección transversal al movimiento del barco, estas ondas se reflejen en el fondo marino y se registra su eco a través de los transductores receptores.

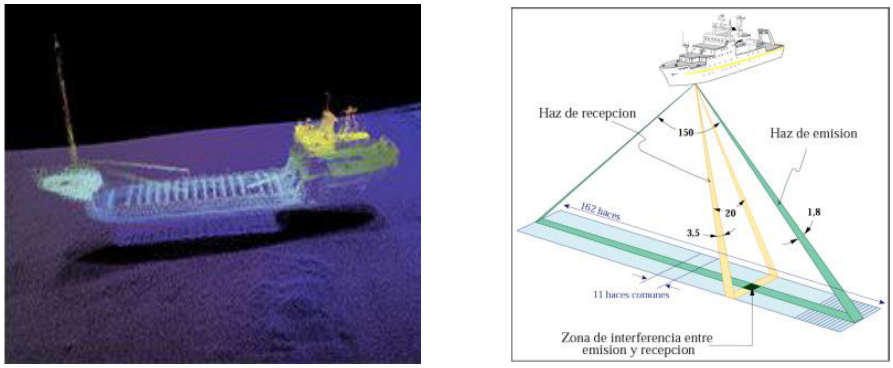


Figura 10. Esquema del sistema ecosonda.
(Fuente: KONGSBERG y Geología y geofísica Marina y Terrestre del Ecuador)

La forma del diseño establece un sector de cobertura de 150 grados (Figura 10), con el ancho de barrido que llega hasta 5.5 veces la profundidad del agua (~ 8 km). El sistema genera 432 sondeos por cada barrido lateral (swath), y cada impulso genera uno o dos barridos. Los datos levantados del fondo marino durante esta campaña fueron aproximadamente catorce millones de puntos.

3.1.2 Adquisición de Datos Sísmicos de Muy Alta Resolución

Con el fin de determinar las estructuras geológicas del subsuelo marino se levantaron datos sísmicos a lo largo de 203 millas en la plataforma marina de Esmeraldas.

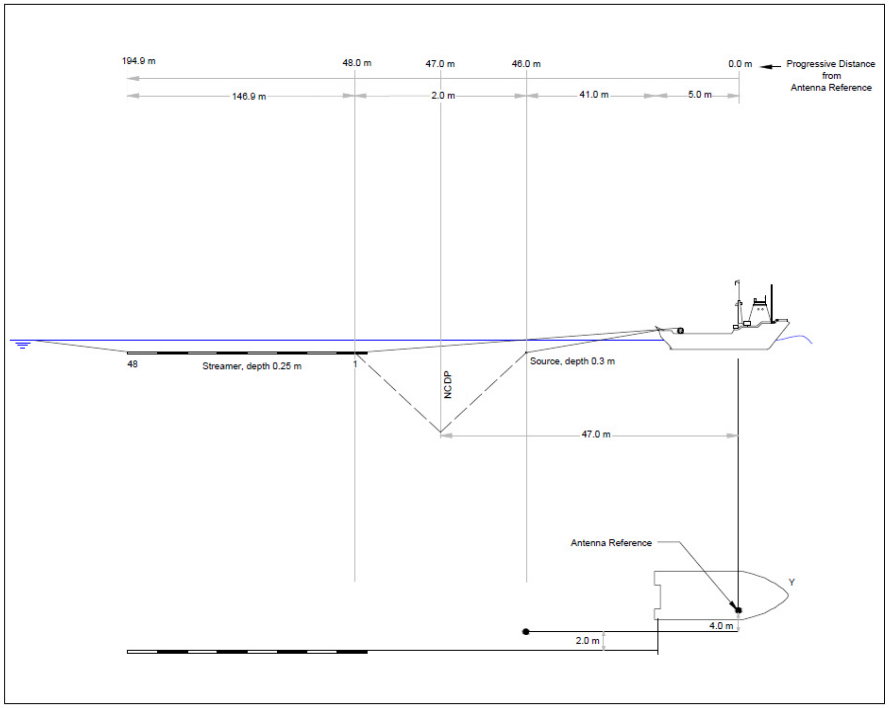


Figura 11. Diagrama de Buque y Geometría.
(Fuente: Informes INOCAR)

La información se levantó a bordo del B.A.E “Orión” a través del sistema de prospección sísmica Sparker (sísmica de muy alta resolución), y el sistema de GPS Trimble 5700, que se instala y opera desde la popa de la embarcación. La velocidad máxima de la embarcación fue 3 nudos durante todo el levantamiento. La fuente de energía del sistema sísmico trabajó con una potencia máxima que llegó hasta 7 kJ, una fuente de chispa de 800 puntas, 2 canales utilizando 2 cadenas de hidrófonos con intervalo entre cada cadena de 1 metro y 1 unidad base de gradado. El sistema de levantamiento sísmico Sparker, se encuentra constituido por la fuente (Geo-Source Sparker 800) y el receptor (Geo-Sense Streamer).

- *Geo-Source Sparker 800:* Esta fuente está compuesta de cuatro módulos de electrodos abiertos, espaciados uniformemente en un arreglo de 1 x 2 m, mejorando la proyección descendente de la energía acústica y reduciendo la longitud de impulso primario. La penetración efectiva por debajo del lecho marino puede exceder de 400 m, dependiendo el nivel de energía usada, la geología y la profundidad del agua.

- Geo-Sense Streamer y Mini Trace II: La cadena de hidrófonos estuvo compuesta de dos cadenas de 24 elementos y una cadena de 8 elementos. La cadena dispuso de un cable de remolque de 100 m de longitud, 11 mm de diámetro, con una zona activa de 2,8 m para 8 elementos, y 9,2 para 24 elementos. El mini trace II permite las lecturas de

baja frecuencia de la señal del monocanal. Todos los datos en bruto se registran en formato estándar SEG-Y.

3.2 Procesamiento de Datos

Para la depuración de los datos batimétricos y sísmicos obtenidos en campo se emplea el uso de dos softwares: Caris HIPS y el Geosuite respectivamente.

Para el procesamiento batimétrico se sigue un formato standard básico (Figura 12) que inicia con el ingreso de los datos de posicionamiento, movimiento y cabeceo. Posteriormente se remueven los datos aberrantes que se hayan formado debido al error del GPS, el movimiento del barco, factores condicionantes del medio y al error instrumental. Para reducir éstos errores se realizan correcciones de marea y de velocidad, de variaciones en la temperatura y salinidad, al igual que el posicionamiento y la medida de movimiento del barco; en el caso de los errores instrumentales vienen dados por el fabricante. Finalmente la visualización en 3D para la detección de los errores. Una vez procesado los datos se pueden visualizar en 2 y 3D.

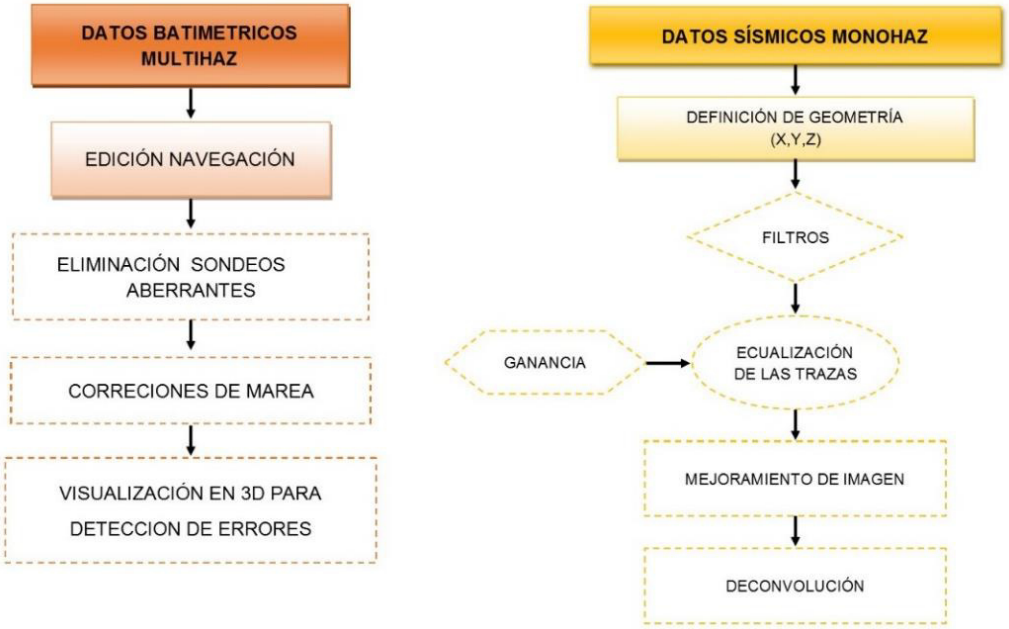


Figura 12. Diagrama para la depuración de datos batimétricos y sísmicos. En la izquierda muestra el esquema de procesamiento batimétrico, y a la derecha el esquema de procesamiento sísmico.
(Modificado de Hernández L.)

Los datos sísmicos se almacenan en formato SEG-Y. A partir de esta información a la que se ha definido previamente la geometría (coordenadas X, Y, Z), se empieza a corregir las interferencias causada por los ruidos (múltiples, difracciones, etc.), Figura 12.

La señal sísmica es una ecuación y junto con los factores que la afectan se puede expresar de la siguiente forma:

$$x(t) = w(t) * e(t) + n(t)$$

Donde:

x(t): Salida filtrada

w(t): Señal de entrada

e(t): Respuesta del impulso de la tierra

n(t): Ruido aleatorio

*: Denota la deconvolución

La señal o la información adquirida pasa a través de filtros para disminuir o eliminar las frecuencias incoherentes (Figura 13). Dos métodos usados son el IIR (Infinite Impulse Response) y el FIR (Finite Impulse Response), la diferencia de estos filtros está en la respuesta de impulso, finita o infinita. Existen cuatro tipos de filtros que se clasifican dependiendo del rango de frecuencia que dejen pasar o atenuar.

- *Filtro paso bajo:* Deja pasar frecuencias bajas y atenúa las frecuencias altas.
- *Filtro paso alto:* Deja pasar las frecuencias altas y atenúa las frecuencias bajas.
- *Filtro pasa banda:* Deja pasar ciertos rangos de frecuencias.
- *Filtro Notch:* No deja pasar ciertos rangos de frecuencia.

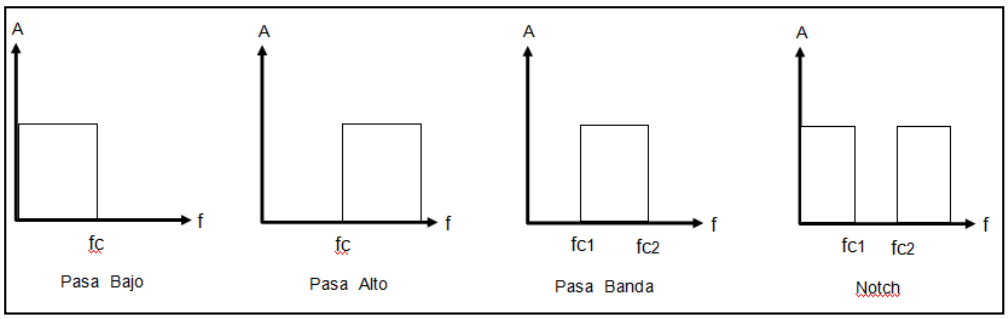


Figura 13. Tipos de filtros dependiendo del rango de frecuencia
(Fuente: tutorial de Adquisición de datos y condicionamiento de la señal – Universidad del País Vasco).

La amplitud varía dentro de un rango amplio debido a los efectos de los coeficientes de reflexión, el decaimiento de la energía a medida que va profundizando, y las pérdidas que podrían ocurrir durante la transmisión de los datos. Para ello, AGC (Automatic Gain Control) ayuda a compensar la señal atenuada, a través de una valor medio de una ventana temporal.

El Mute es un filtro usado para eliminar trenes de onda, como la columna de agua, mejorando de ésta forma la imagen. Finalmente se usa un proceso matemático de filtrado inverso que permite recuperar las altas frecuencias, atenuar los múltiples, ecualizar las amplitudes, y producir una ondícula de fase cero, y se conoce como deconvolución.

Múltiples: Son reflexiones que se han sometido a más de un rebote, produciendo una serie de reflexiones superpuestas perdurables para diferentes segundos, lo que se conoce como un proceso de convolución, donde el primer múltiple es aproximadamente dos veces la longitud del primer frente de onda.

La deconvolución comprime los componentes de la ondícula reduciendo o eliminando los múltiples y dejando la reflectividad en la traza sísmica.

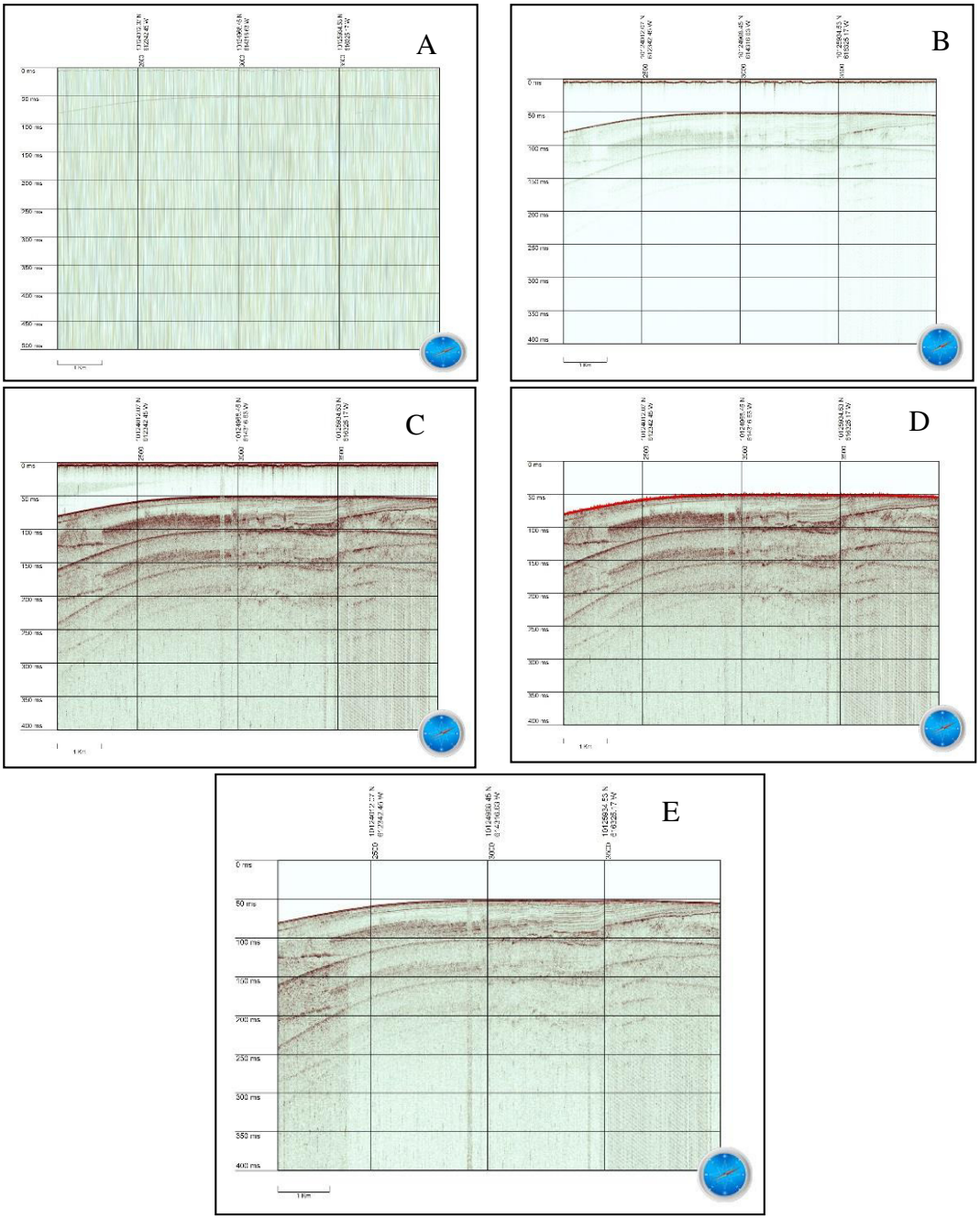


Figura 14. Sección sísmica procesada del proyecto MARGE, perfil L15. **A)** Señal de entrada, **B)** filtrada con IIR, **C)** Incremento de amplitud usando AGC, **D)** Elimina la columna de agua, usando Mute, **E)** Deconvolución, atenuando los múltiples.

Para sísmica monocanal, las correcciones estáticas como el NMO no se utilizan, ya que es un solo CDP por cada disparo.

3.3 Interpretación de Datos

3.3.1 Interpretación Batimétrica

El estudio de la batimetría está basado en el análisis geomorfológico de los mapas obtenidos con la ayuda del sistema de información geográfico ARCGIS, con la ayuda de la herramienta Spatial Analyst para la generación del modelo digital del terreno (DEM). A partir de éste raster, se han elaborado mapas de pendientes para determinar la inclinación de los flancos del cañón, así también para identificar los niveles de terrazas. El mapa de relieves con azimut de la fuente de luz de 315° y 200° ha permitido identificar con más claridad las cicatrices de deslizamiento. Para la clasificación de las geoformas se elaboró mapas de grilla gruesa y fina que fue otorgada por el INOCAR.

Adicional al uso de mapas de pendientes para la determinación de las terrazas, se trazaron perfiles batimétricos y se distinguieron las alturas de éstas para cada nivel, medido desde el canal principal.

3.3.2 Interpretación Sísmica

El análisis de los perfiles sísmicos Sparker están basados en los principios de sísmica estratigráfica mencionados por Mitchum et al. (1977), Sangree et

Widmier (1977), Roksandi'c (1978), Sheriff (1980) et Van Wagoner et al. (1988).

Una unidad sísmica corresponde a una unidad cartografiable en tres dimensiones de paquetes de reflectores sísmicos definidos por tres criterios principales: (1) La terminación de los reflectores sísmicos a lo largo del límite de la unidad sísmica (onlap, toplap, downlap, truncación y concordancia). (2) La configuración interna de los reflectores sísmicos y (3) la forma exterior de las unidades sísmicas (Mitchum et al., 1977; Proust et al., 2010). El análisis de las facies sísmicas comprende la configuración interna (Figura 15) y un modelo acústico de reflexión (amplitud, continuidad, frecuencia).

- *Amplitud:* Contiene información del contraste de velocidad y densidad de interfaces individuales y su espaciamiento. Los cambios en vertical de la amplitud señala discordancia, y los cambios laterales distinguen facies sísmicas.

- *Continuidad:* Describe la persistencia lateral de una reflexión. Los reflectores continuos son característicos de ambientes en condiciones uniformes, mientras que los discontinuos indican un cambio lateral rápido de facies.

- *Frecuencia:* Describe el número de reflexiones por unidad de tiempo. Los cambios verticales se usan como guías para limitar las secuencias deposicionales, y los cambios laterales indican cambios de interfacies.

La configuración de los reflectores permite interpretar el escenario deposicional de las facies, los observados en el área de estudio son: reflexiones paralelas, subparalelas y divergente. Las configuraciones más complejas presentes que se formaron por dependencias laterales o progradantes son: sigmoide, oblicuo y hummocky.

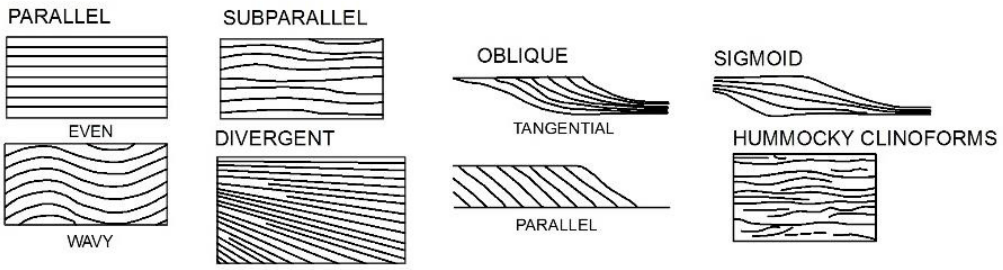


Figura 15. Patrones de configuración de reflectores.
(Fuente: Seismic stratigraphy and global changes of sea level; Mitchum et al. 1977)

Para el reconocimiento de los límites de secuencia, las terminaciones de reflexiones se basan en el tipo de terminaciones de los estratos (Figura 16)

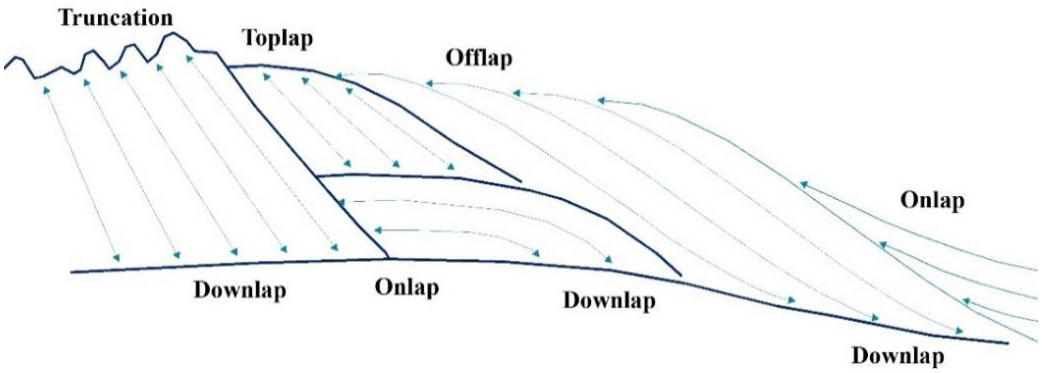


Figura 16. Tipos de terminaciones de reflexiones.
(Fuente: Principles of Sequence Stratigraphic)

Los tipos de límite para la base de la secuencia son el onlap y el downlap:

- *Onlap:* Estratos subhorizontales frente a una superficie inicialmente inclinada, marcando la terminación lateral de una unidad sedimentaria. Se pueden desarrollar onlap marino en las pendientes continentales durante las transgresiones, onlap costero en las transgresiones de costa para los estratos de aguas someras, en onlap sobre las superficies de ravinamiento, y onlap fluvial dentro de un sistema fluvial durante el levantamiento del nivel de base, cuando los estratos fluviales se encuentran en onlap sobre las disconformidades subaereas.

- *Downlap:* Estratos inicialmente inclinados terminan buzando hacia abajo contra una superficie inicialmente subhorizontal o inclinada. Son más frecuentes en ambientes marino somero o profundo, y ambientes lacustres.

Las terminaciones para limitar secuencias hacia el tope son: toplap y truncación.

- *Toplap:* Estratos inclinados inicialmente frente a una superficie de bajo ángulo, posiblemente como resultado de una no depositación, con menor erosión.

- *Truncación:* Terminación de estratos sobre una superficie erosionada. Las truncaciones también pueden ser producidas por fallas, slumps, intrusiones de sal o rocas ígneas, etc.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Análisis de Batimetría.

4.1.1 Caracterización Geomorfológica del Fondo Marino

La batimetría levantada en la Plataforma de Esmeraldas cubre una superficie de 894 km^2 aproximadamente, ubicado al Norte del Ecuador. Para el análisis se han considerado dos áreas: el cañón submarino del Río Esmeraldas, y La Plataforma del Margen Norte del Cañón Submarino de Esmeraldas (Figura 17).

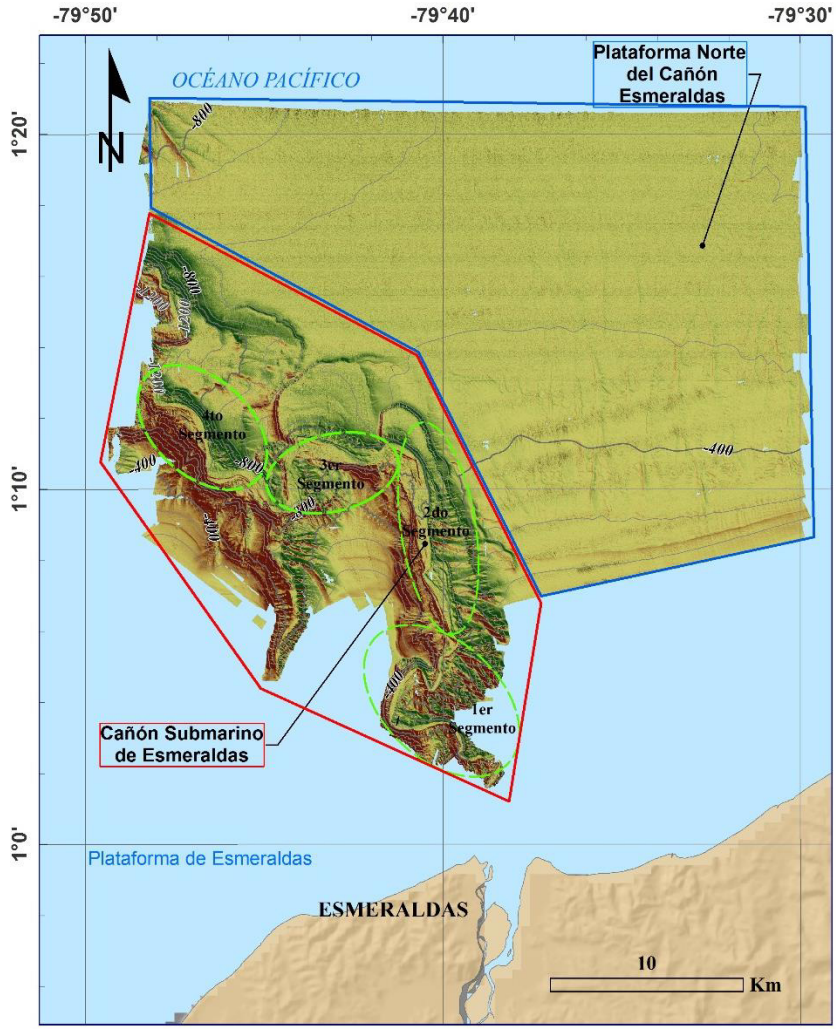


Figura 17. Ubicación del área de Estudio: Cañón Submarino del río Esmeraldas y la Plataforma Norte del cañón submarino de Esmeraldas.

Para este análisis se ha dividido al cañón de Esmeraldas en cuatro segmentos (Figura 17). El primer segmento del cañón se extiende desde la latitud 1º15′ hasta 1º5′, este segmento muestra un canal sinuoso, que generalmente tiende a presentarse en dirección ~N60W, con profundidades que oscilan entre 300 y 650 m (Figura 18); la longitud a lo largo de este segmento es de aproximadamente 15 km; este segmento posee la mayor

cantidad de canales tributarios presentes en esta área de estudio (Figura 20 A), posiblemente porque esta zona se encuentra más entallada debido a las pendientes que varían entre 40° y 80° (Figura 19).

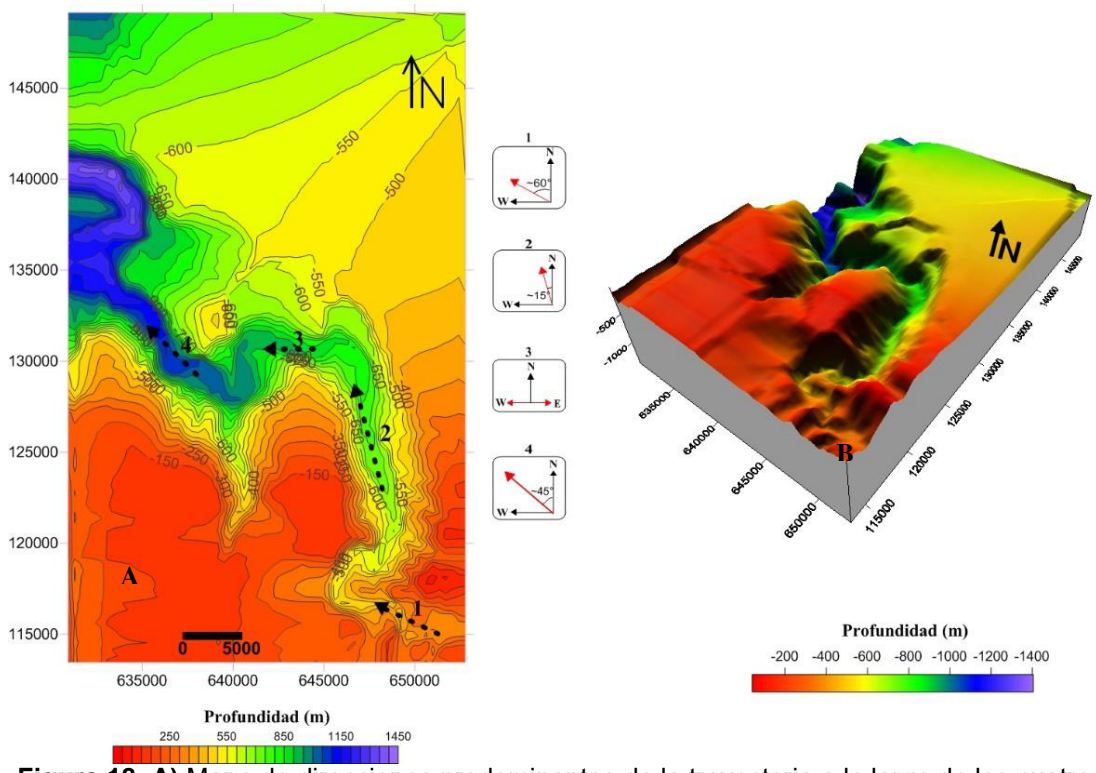


Figura 18. A) Mapa de direcciones predominantes de la trayectoria a lo largo de los cuatro segmentos del cañón submarino de Esmeraldas; **B)** MDT de la batimetría del cañón submarino de Esmeraldas.

El segundo segmento del cañón submarino de Esmeraldas se extiende desde la latitud 1°5’ hasta la latitud 1°11’ (Figura 17), y se observa prácticamente recto con una dirección ~N15W con profundidades que alcanzan hasta los 850 m (Figura 18); éste segmento tiene una longitud aproximada de 11 km. La pendiente de los flancos varían entre 20° y 60° (Figura 19), siendo el flanco derecho de este segmento del cañón, el que

presenta mayor cantidad de zonas con altas pendientes, algunas de éstas relacionadas con el escarpe de las terrazas (que pueden alcanzar pendientes de hasta ~75°), que tienen alturas que llegan hasta los 400 m con respecto al thalweg (eje de máxima profundidad) del cañón; mientras que su flanco izquierdo se eleva sobre los 500 m.

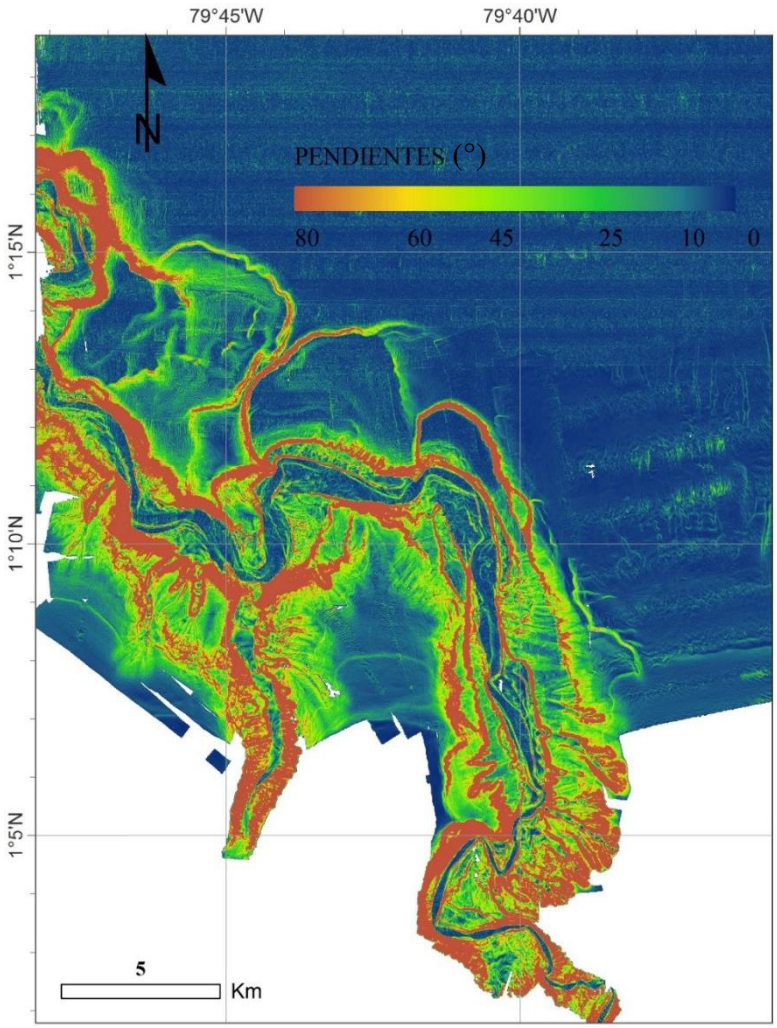


Figura 19. Mapa de Pendientes del Cañón Submarino de Esmeraldas.

El tercer segmento, ubicado en la latitud 1°11', casi horizontal (figura 17), cambia completamente de rumbo dirigiéndose hacia el Este y siguiendo posiblemente la curvatura de un antiguo meandro que ha sido entallado por acción de las corrientes, acortando la trayectoria del canal. Éste rasgo de paleomeandro (-79°42' / 1° 12') tiene una superficie de aproximadamente 16 km^2. El canal principal de esta sección se encuentra limitado por paredes que tienen pendientes promedios de 35° (Figura 19). A la altura de las coordenadas -79°44' / 1°10' el thalweg sufre una desviación debida posiblemente a un deslizamiento que ha interrumpido su trayectoria y la ha desviado en dirección hacia el sur formando un meandro en forma de U (Figura 20 A).

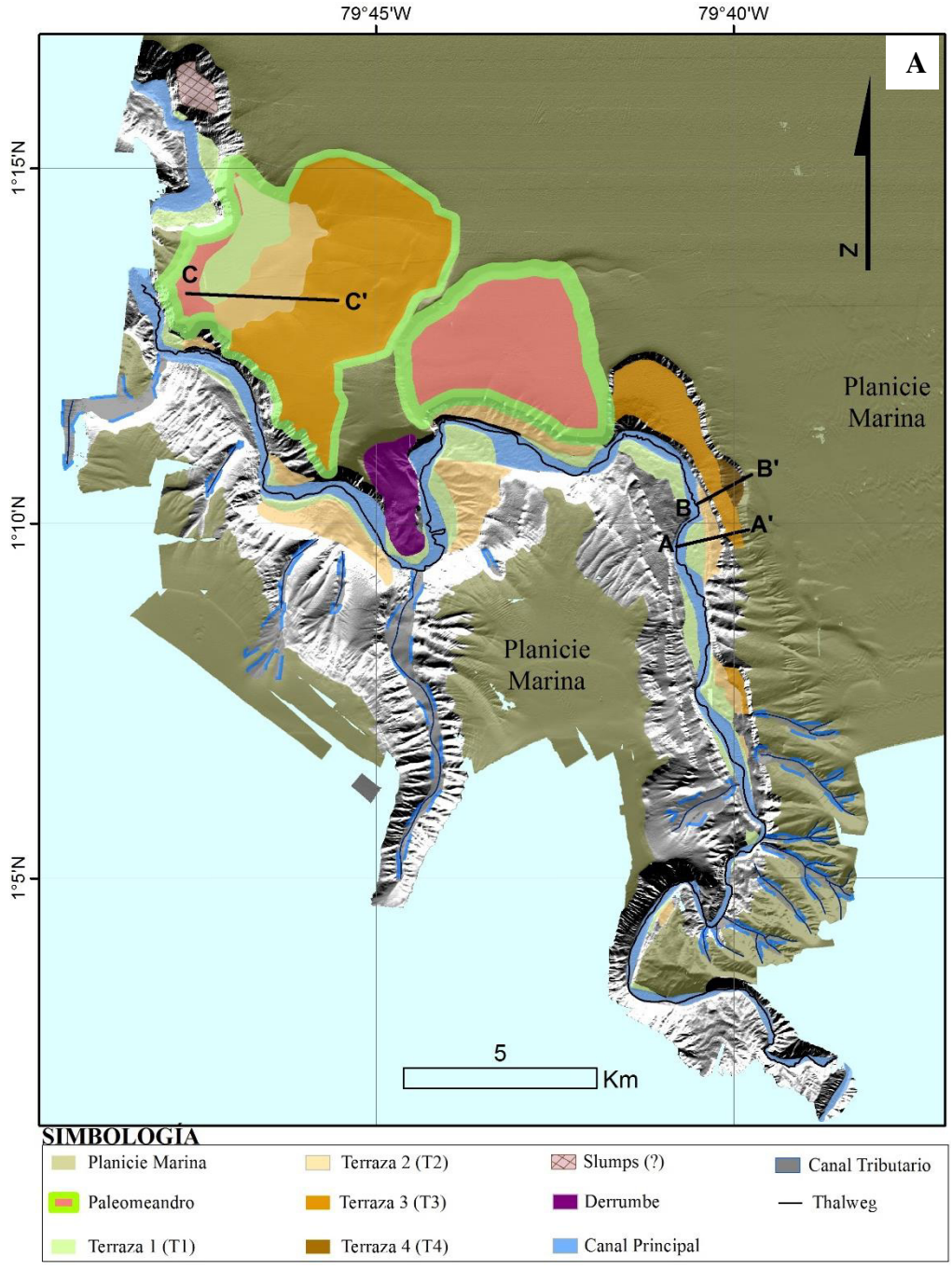
El cuatro segmento, parte del meandro en forma de U, y partir de este rasgo retoma su trayectoria en dirección ~N45ºW, en esta sección las profundidades llegan hasta 1220 m (Figura 18), la longitud de este segmento es de aproximadamente 13 km; los flancos tienen pendientes que varían entre 30° y 40°, aunque localmente puede alcanzar hasta los 60°. En el flanco derecho del cañón se observa un paleomeandro (79°45' / 1°13') con tres niveles de terrazas (Figura 20 B, perfil batimétrico C – C').

La batimetría adquirida ha permitido identificar diferentes rasgos morfológicos (Figura 20 A) tales como una zona de planicie que se encuentra marcada por una morfología regular en las zona distales al cañón. El cañón corta la zona

de planicie con una dinámica muy activa cambiando la dirección de la trayectoria en algunos segmentos y formando meandros a lo largo de todo el recorrido.

El ancho promedio del canal principal es de ~200 m en el primer segmento (desde 1°15’ hasta 1°5’), a partir de esta posición el ancho del canal se incrementa y varía entre 350 y 600 m.

A partir de la latitud 1° 10’ se observan meandros abandonados que tienen diferentes niveles de altitud, los mismos que han sido clasificados en terrazas cronológicamente colocadas de la más joven a la más antigua T1, T2, T3 y T4 (Figura 20 B), y de acuerdo a los intervalos de alturas (Tabla I). La terraza T1 con alturas que varían entre 10 – 30 m. La terraza T2 tiene alturas entre 40 – 80 m. La terraza T3 con alturas entre 100 y 140 m, y la terraza T4 en las coordenadas geográficas -79°40 / 1°10’ que alcanza una altura de 120 m.


79°45'W
79°40'W
1°15'N
1°10'N
1°5'N
A
N
C
C'
B'
B
A'
A
Planicie
Marina
Planicie
Marina
5
Km
SIMBOLOGÍA
Planicie Marina
Terraza 2 (T2)
Slumps (?)
Canal Tributario
Paleomeandro
Terraza 3 (T3)
Derrumbe
Thalweg
Terraza 1 (T1)
Terraza 4 (T4)
Canal Principal

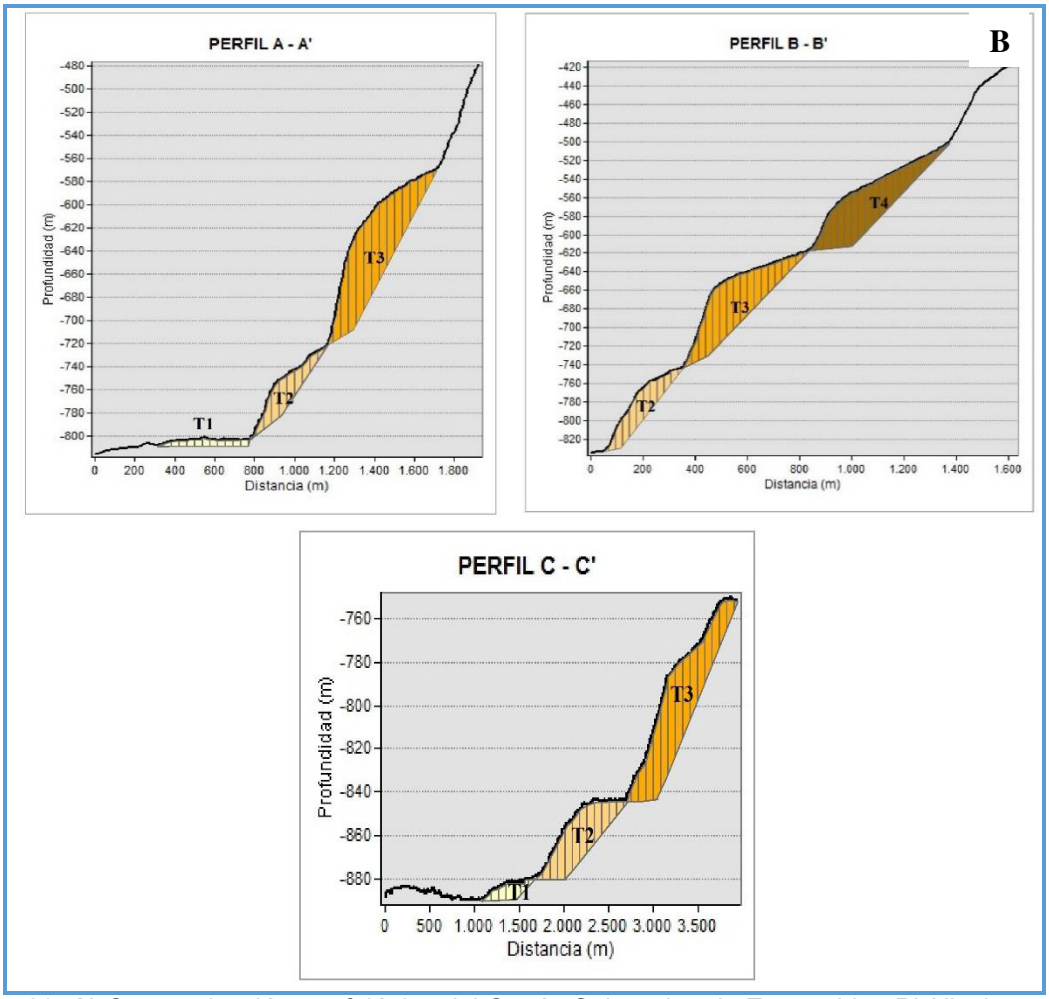


Figura 20. A) Caracterización morfológica del Cañón Submarino de Esmeraldas **B)** Niveles de Terrazas identificados, basados en la batimetría de alta resolución.

Tabla I Niveles de Terrazas del cañón submarino

Terrazas	**Altura (m)** *Perfil A – A'*	**Altura (m)** *Perfil B – B'*	**Altura (m)** *Perfil C – C'*
T1	10	---	15 - 20
T2	70 - 80	70	40
T3	130 - 140	120	100
T4	---	120	---

La Plataforma ubicada en el margen derecho del cañón del río Esmeraldas presenta intervalos de profundidades entre 130 m hasta 750 m, con pendientes aproximadas entre 5 y ~20° (Figura 19).

Ésta superficie presenta rasgos o estructuras originadas por la erosión a causa de la pendiente (Figura 21), y la orientación de la pendiente resalta éstas estructuras morfológicas que se aprecian suavemente en la batimetría. Se puede observar un alineamiento con una tendencia en dirección del sur hacia el norte.

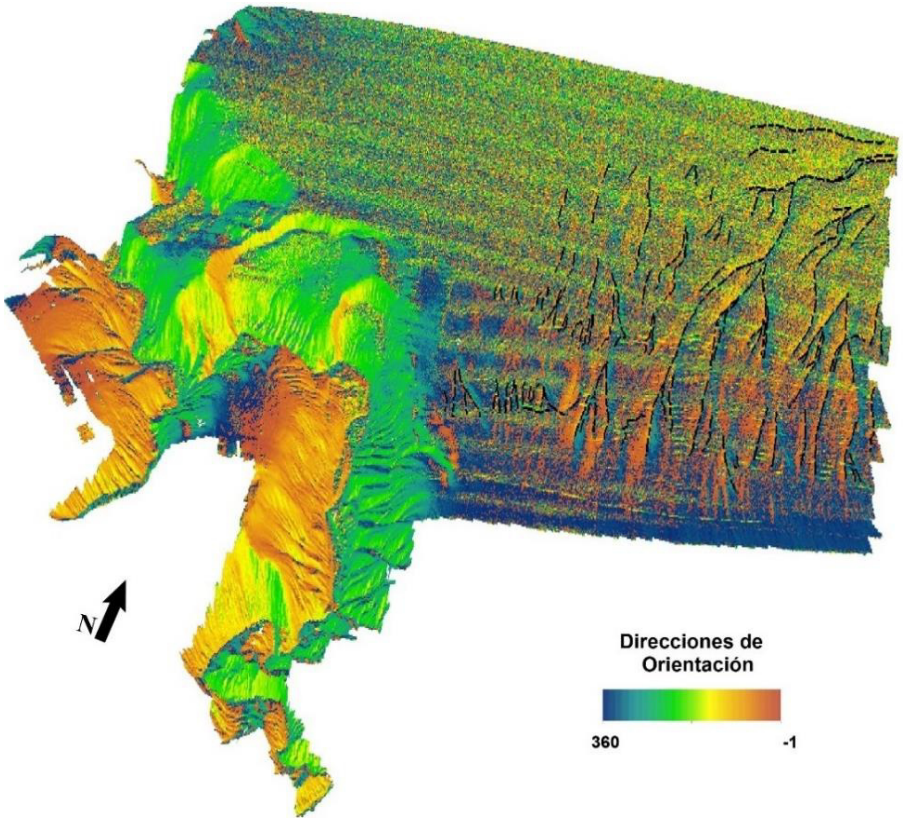


Figura 21. Mapa de orientación de la pendiente, identifica rasgos estructurales de erosión producido por acción de las olas y/o gravedad al Norte del Cañón submarino de Esmeraldas.

4.2 Análisis de Perfiles Sísmicos

Para el análisis de la sísmica se usaron 14 perfiles sísmicos (Figura 22), ubicados en la zona de la plataforma y en la zona misma del cañón, dispuestos en sentido paralelo y transversal al cañón. En la tabla II se muestra el orden de adquisición, la orientación y longitud de cada línea sísmica.

Tabla II Perfiles sísmicos adquiridos en la zona de Esmeraldas para el proyecto MARGE.

N°	Nombre / Abreviatura		Dirección	Longitud (km)
1	OSE18-OCT2013-CH-1	L1	SW-NE	4.98
2	OSE18OCT2013DUAL-CH-1	L1d	SE-NW	26.14
3	OSE18OCT2013-L15-DUAL-CH-1	L15	SW-NE	28.60
4	OSE18OCT2013-L16DUAL-CH-1	L16	NW-SE	29,44
5	OSE19OCT2013-L21DUAL-CH-1	L21	SSE-NNW	24,03
6	OSE19OCT2013-L22-1-DUAL-CH-1	L22-1	NE-SW	1.73
7	OSE22OCT2013-L22-2DUAL-CH-1	L22-2	NE-SW	12.58
8	OSE19OCT2013-L23DUAL-CH-1	L23	SSE-NNW	11.23
9	OSE19OCT2013-L24-2DUAL-CH-1	L24-2	WSW-ENE	20.51
10	OSE19OCT2013-L25DUAL-CH-1	L25	SSE-NNW	8.98
11	OSE19OCT2013-L26DUAL-CH-1	L26	ENE-WSW	21.23
12	OSE19OCT2013-L27DUAL-CH-1	L27	S-N	12.30
13	OSEOCT2013-L28DUAL-CH-1	L28	NNW-SSE	45.2
14	OSE20OCT2013-L29DUAL-CH-1	L29	SW-NE	2.94

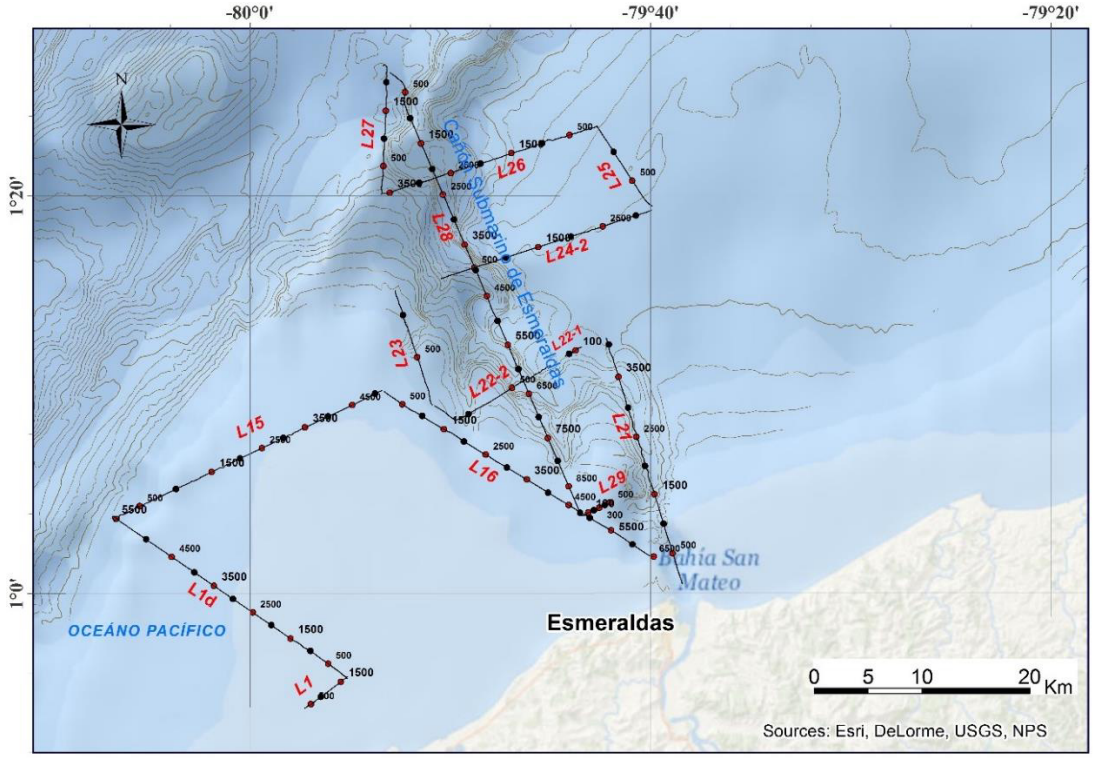


Figura 22. Ubicación de los perfiles sísmicos adquiridos en la Plataforma de Esmeraldas. (Levantamiento Sísmico – Octubre 2013).

4.2.1 Descripción de Unidades y Facies Sísmicas

En el análisis de los perfiles sísmicos se identificaron tres unidades de relleno de paleocanales tales como Ua, Uc, Ue (Anexos A, B, E y K). Otra unidad reconocida es la unidad “Ub” localizada en la plataforma sur, y otras facies encontradas en los flancos del cañón son F1d – F5d, F1f – F4f, F1g – F4g, siendo F1 la más antigua y F5 la más joven. El modelo acústico de las facies y unidades identificadas y definidas por las terminaciones sísmicas y la configuración de los reflectores se describen a continuación:

- **Unidad Ua:** Ésta unidad tiene un espesor acústico de 60 ms TWTT. Comprende las facies F1a a F4a (Figura 23). La unidad se encuentra ubicada en la plataforma al Suroeste del Cañón de Esmeraldas, asentado sobre una Plataforma Antigua (?), y el tope es la superficie de fondo marino (Perfil L1-Anexo A y L1d-AnexoB).

  - ***Facies F1a:*** Localizada sobre una Superficie Antigua, con un espesor de 26 ms (TWTT). Los reflectores se componen de una frecuencia media a alta, continuidad de baja a media, y con una amplitud de media a alta. La configuración de ésta facie se presenta de subparalela a hummocky.
  - ***Facies F2a:*** Esta Facie se asienta sobre F1a. Tiene un espesor de 10 ms (TWTT). Los patrones de reflexión interna presentan una continuidad de media a alta, amplitud baja y frecuencia de media. Sus reflectores se disponen de subparalela a hummocky, localmente en divergencia.
  - ***Facies F3a:*** Descansa sobre la facie F2a. La configuración de los reflectores se muestra de hummocky a subparalelo. La continuidad de las reflexiones se manifiesta de media a baja, con amplitud baja y alta, y frecuencia de media a alta. Tiene un espesor máximo de 15 ms (TWTT).
  - ***Facies F4a:*** Corresponde a los sedimentos más superficiales, con un espesor máximo de 9 ms (TWTT). Muestra reflexiones de alta amplitud,

con continuidad y frecuencia de media a alta. La geometría de las facies F4a se caracteriza por la disposición en paralelo de sus reflectores.

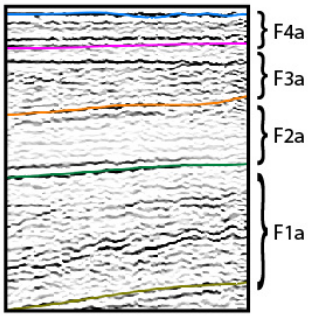


Figura 23. Sección sísmica que identifica la Unidad "Ua", perfil L1-Anexo A.

- **Unidad Ub:** Asentada sobre una Superficie Antigua (?) con un espesor máximo ~61 ms (TWTT) (Perfil Sísmico L15-Anexo C). La configuración de los reflectores de toda la unidad en general es paralela. Se conforma de las facies F1b, F2b y F3b, a esta unidad le sobreyacen las facies Fb' (Perfil L15 – Figura 24):
  - ***Facie F1b:*** Yace sobre una Superficie Antigua (?) drapeando la topografía antigua. Tiene un espesor de 28 ms TWTT. Con reflectores que manifiestan una configuración de media a alta frecuencia y amplitud; mientras se puede apreciar reflectores con baja y alta continuidad.
  - ***Facie F2b:*** Descansa sobre F1b, y su espesor máximo es de 23 ms (TWTT); con una configuración de reflexión con continuidad de media a alta, su amplitud se manifiesta baja, localmente alta; además de una

frecuencia media. Los reflectores internos se encuentran subparalelos, en partes drapeado (tomando la forma de F1b).

- ***Facie F3b:*** Ésta facie se caracteriza por sus reflectores subparalelos. Sus patrones internos describen una continuidad y amplitud de media a alta, y una amplitud alta. Tiene un espesor máximo de 10 ms (TWTT).

- ***Facie Fb':*** La facie Fb' describe los sedimentos que llegan hasta superficie, desde una superficie que aparentemente ha sufrido una leve erosión. Tiene un espesor de 4 ms (TWTT) y sus reflectores internos muestran la continuidad y amplitud alta, y su frecuencia se muestra media.

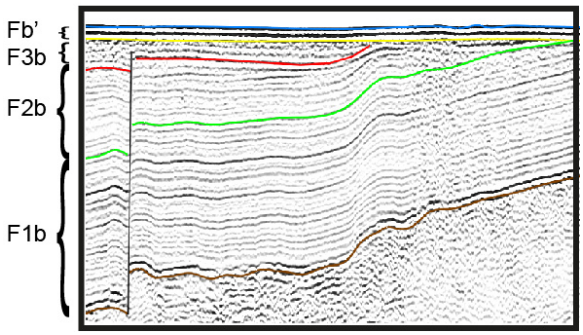


Figura 24. Sección sísmica que identifica la Unidad "Ub", perfil L15.

- **Unidad Uc:** Esta unidad está compuesta por dos facies (Figura 25) que se encuentran ubicadas en un paleomeandro del cañón (Perfil sísmico L22-1-Anexo E); y forma un espesor máximo de 164 ms (TWTT).

  - ***Facies F1c:*** Se asienta sobre un paleocanal. Los reflectores muestran una continuidad, amplitud y frecuencia de media a alta. El espesor

máximo es de 108 ms (TWTT). Los reflectores internos se encuentran en paralelo rellenando el paleocanal.

- ***Facies F2c:*** Reposa sobre la facie F1c, con reflectores que también se disponen en paralelo y drapeado. La configuración interna está conformada por una amplitud y continuidad alta, mientras que su frecuencia se presenta de media a alta.

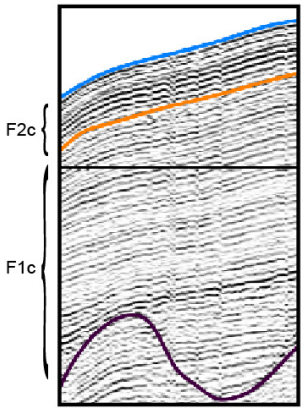


Figura 25. Sección sísmica que identifica la Unidad "Uc", perfil L22-1- Anexo E

Al norte del cañón submarino se pueden distinguir las siguientes facies:

- **Facies F1d – F5d:** Ubicadas al Norte del cañón submarino de Esmeraldas (Perfiles L24-2, L25, L26 y L-27 – Anexos H, I, J y K respectivamente). Debido a la baja resolución en profundidad de estos perfiles, no se puede delimitar la base de esta unidad. La potencia máxima de estas facies es 233 ms (TWTT). La tendencia de los reflectores es que se disponen en paralelo (Figura 26).

- ***Facies F1d:*** Muestra reflectores en subparalelo a drapeado, las reflexiones tienen continuidad media, amplitud baja a media, y frecuencia de media a alta. El espesor máximo de 35 ms (TWTT).
- ***Facies F2d:*** Yace sobre F1d en subparalelo a drapeado. Tiene un espesor máximo de 136 ms TWTT. La configuración interna de los reflectores tiene la continuidad de media a alta, la amplitud de media a alta, ocasionalmente baja, y la frecuencia media a alta.
- ***Facies F3d:*** Esta facie generalmente muestra reflectores en subparalelo, localmente en hummocky; tiene una frecuencia y continuidad de media a alta, con amplitud media. El espesor máximo de ésta facie es de 30 ms (TWTT).
- ***Facies F4d:*** Reposa en paralelo sobre F3d, eventualmente se presenta en hummocky. El espesor máximo de este reflector es de 33 ms (TWTT). Las reflexiones se presentan con una baja y alta amplitud, y la continuidad y frecuencia de media a alta.
- ***Facies F5d:*** El espesor máximo de esta facies es de 9 ms (TWTT). La configuración interna de los reflectores posee la continuidad y amplitud alta, y localmente media; la frecuencia es de media a alta. Los reflectores se disponen de paralelo a subparalelo.

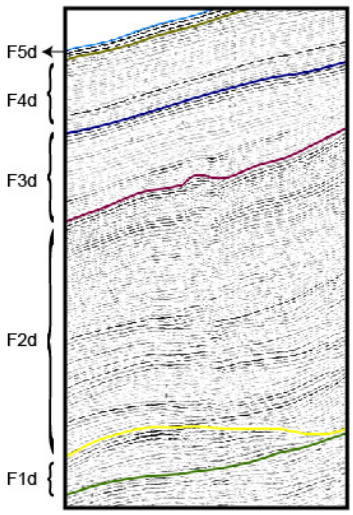


Figura 26. Sección sísmica que identifica las facies sísmicas F1d – F5d, perfil L26.

- **Unidad Ue:** Estas facies (F1e – F6e) presentes localmente, forman parte del relleno de un paleocanal; y tienen un espesor máximo de 177 ms (TWTT). Las facies se encuentran en el perfil sísmico L27, y se disponen de manera general en subparalelo (Figura 27).

  - ***Facies F1e:*** La facie presenta una baja continuidad y amplitud, y la frecuencia media. Los reflectores se disponen en subparalelo a caótico al pie de la ladera, sobre un paleocanal. El espesor máximo de este reflector es de 42 ms (TWTT).
  - ***Facies F2e:*** Descansa sobre F1e en forma oblicua paralelo a sigmoidea, mostrando reflectores con continuidad media, amplitud media a alta, y la frecuencia media. Tiene un espesor de 35 ms (TWTT).
  - ***Facies F3e:*** Esta facie reposa sobre F2e, con un espesor máximo de 40 ms (TWTT). Están compuestos por reflectores de baja continuidad y

amplitud, y con frecuencia de baja a media. Los reflectores se muestran en subparalelo.

- ***Facies F4e:*** Los reflectores se disponen de drapeado a paralelo sobre la facie F3e, y tienen un espesor máximo de 17 ms (TWTT). Presenta amplitud y continuidad de media a alta, y la frecuencia es media.
- ***Facies F5e:*** Ésta facie cubre la facie F4e de forma paralela, drapeando la topografía anterior. Los patrones de reflexión están constituidos por una frecuencia y continuidad media, y su amplitud de baja a media. Tiene un espesor máximo de 27 ms (TWTT).
- ***Facies F6e:*** Las reflexiones de estas facies despliega una alta continuidad y amplitud, mientras que la continuidad se presenta de media a alta. Los reflectores se muestran subparalelo, descansando sobre F5e y llegando hasta superficie del paleocanal.

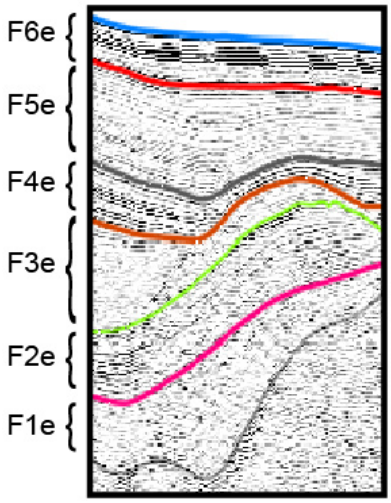


Figura 27. Sección sísmica que identifica unidad “Ue”, perfil L27-Anexo K.

- **Facies F1f – F4f:** Estas facies se encuentran ubicadas en el flanco izquierdo del cañón (perfil sísmico L28, Anexo L), forman un espesor máximo de 60 ms (TWTT). De acuerdo a su configuración se reconocen cuatro facies (Figura 28):
  - ***Facies F1f:*** Es la primera facie distinguible en el flanco. Los reflectores tienen la continuidad baja a media, la amplitud baja y la frecuencia alta. El espesor máximo es de 20 ms (TWTT). Los reflectores internos se colocan subparalelos y en partes caótico.
  - ***Facies F2f:*** Se asienta sobre F1f de forma subparalela. Tiene una potencia máxima de 8 ms (TWTT). La configuración interna de los reflectores muestran una frecuencia media, con una alta continuidad y la amplitud.
  - ***Facie F3f:*** La forma de la depositación se presenta de subparalelo a paralelo, localmente caótico. El espesor máximo es de 17 ms (TWTT). Los reflectores tienen una amplitud de baja a media, mientras que la continuidad y la frecuencia se aprecian de media a alta.
  - ***Facie F4f:*** Tiene un espesor máximo de 15 ms (TWTT). Los reflectores se disponen de subparalelo a hummocky. La amplitud, continuidad y frecuencia se presentan altas.

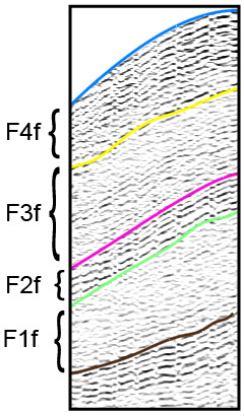


Figura 28. Sección sísmica que identifica las facies F1f – F4f, perfil L28 – Anexo L.

- **Facies F1g – F4g:** Estas facies (Figura 29) se encuentran localizadas en el flanco derecho de cañón entre los CDP's 5000 – 5400 (perfil sísmico L28, Anexo L), tienen un espesor máximo de 155 ms (TWTT).
  - ***Facies F1g:*** Tiene un espesor máximo de 70 ms (TWTT), y sus reflectores se encuentran en subparalelo a sigmoide. La continuidad de los reflectores se muestra alta, y localmente baja (CDP 5100 – 5250), la amplitud media a alta, ocasionalmente baja; la frecuencia es de media a alta.
  - ***Facies F2g:*** Sobreyace sobre la facie F1g de forma paralela a subparalela. La estructura interna de los reflectores presenta la continuidad, frecuencia y amplitud de media a alta. El espesor máximo de esta facie es 30 ms (TWTT).
  - ***Facies F3g:*** La continuidad y la amplitud de los reflectores es alta, y la frecuencia media a alta. El espesor máximo es de 40 ms (TWTT). Los reflectores se encuentran en paralelo a subparalelo.

- ***Facies F4g:*** Esta facie se dispone en paralelo, con una potencia máxima de 15 ms (TWTT). La configuración interna de los reflectores indica una alta amplitud y continuidad, mientras que su frecuencia se presenta de media a alta.

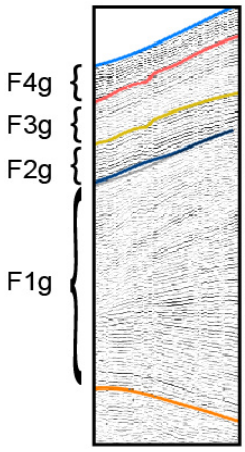


Figura 29. Sección sísmica que identifica las facies F1g – F4g, perfil L28 – Anexo L.

Tabla III Características de las facies sísmicas encontradas en la Plataforma y Cañón Submarino de Esmeraldas.

Unidad	Facie	Continuidad	Amplitud	Frecuencia	Configuración Geométrica	TWTT max (ms)	Terminación de Reflectores
Ua	F1a	Baja a media	Media a alta	Media a alta	Subparalela a hummocky	26	LI: Downlap, Onlap
	F2a	Media a alta	Baja	Media	Subparalela a hummocky, localmente divergente	10	
	F3a	Media	Baja y alta	Media a alta	Hummocky a subparalelo	15	
	F4a	Media a Alta	Alta	Media a alta	Paralelo	9	
Ub	F1b	Baja y alta	Media a alta	Media a alta	Drapeado a paralelo, localmente oblicuo paralelo	28	LI: Concordancia LS: Toplap
	F2b	Media a alta	Baja y localmente alta	media	subparalelo, localmente Drapeado	23	
	F3b	Media a alta	Media a alta	alta	subparalelo	10	
	Fb'	Alta	alta	media	subparalelo	4	
Uc	F1c	Media a alta	Media a alta	Media a alta	Paralelo	108	LI: Onlap, Concordancia,
	F2c	Alta	Alta	Media a alta	Paralelo a drapeado	56	

Unidad	Facie	Continuidad	Amplitud	Frecuencia	Configuración Geométrica	TWTT max (ms)	Terminación de Reflectores
	F1d	Media	Baja a media	Media a alta	Subparalelo a drapeado	35	
	F2d	Media a alta	Media a alta, localmente baja	Media a alta	Subparalelo a drapeado	136	
	F3d	Media a alta	Media	Media a alta	Subparalelo, localmente Hummocky	30	
	F4d	Media a alta	Baja y alta	Media a alta	Paralelo, Loc. Hummocky	33	
	F5d	Alta	Alta	Media	subparalelo	5	
Ue	F1e	Baja	Baja	Media	Subparalelo a caótico	42	LI: Concordancia, Onlap
	F2e	Media	Media a alta	Media	Oblicua paralela a sigmoide	35	
	F3e	Baja	Baja	Baja a media	Subparalelo	40	
	F4e	Media a alta	Media a alta	Media	Drapeado a paralelo	17	
	F5e	Media	Baja a media	Media	Drapeado a paralelo	27	
	F6e	Alta	Alta	Media a alta	Subparalela	16	

Unidad	Facie	Continuidad	Amplitud	Frecuencia	Configuración Geométrica	TWTT max (ms)	Terminación de Reflectores
	F1f	Baja a media	Baja	alta	Subparalela, localmente caótico	20	
	F2f	Alta	Alta	Media	Subparalela	8	
	F3f	Media a alta	Baja a media	Media a alta	Subparalela a paralela, localmente caótico	17	
	F4f	Alta	Alta	alta	Subparalelo a hummocky	15	
	F1g	Alta, localmente baja	Media a alta, locamente baja	Media a alta	Subparalelo a sigmoide	70	
	F2g	Media a alta	Media a alta	Media a alta	Paralelo a Subparalelo	30	
	F3g	Media a alta	Baja a media	Alta	Paralelo a subparalelo	40	
	F4g	Alta	Alta	Media a alta	Paralelo	15	

4.2.2 Correlación a escala del Margen

Se realizó una correlación de las unidades y facies sísmicas a lo largo de la zona de plataforma de Esmeraldas y el cañón submarino de Esmeraldas. Las líneas sísmicas que se correlacionaron para la identificación de facies y unidades sísmicas se indican en la Figura 30:

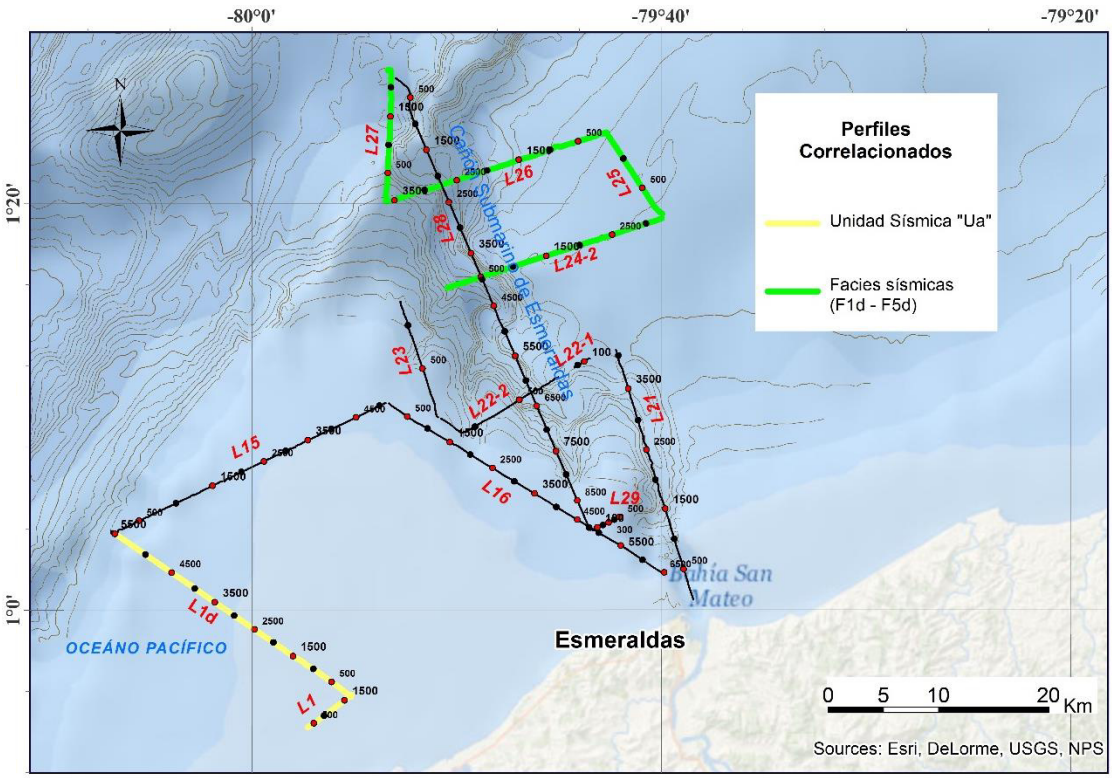


Figura 30. Mapa de ubicación de los perfiles sísmicos correlacionados (color verde y amarillo). Los perfiles en color negro no han sido posible correlacionar las facies y unidades sísmicas.

En los perfiles sísmicos L1 y L1d ubicados al suroeste de cañón de Esmeraldas, se identifica la unidad “Ua” (Figura 31 – Anexo A y B), cuya base termina con reflectores en downlap y onlap, la misma que se ha interpretado como una Plataforma antigua, y está constituida por cuatro

facies. Las facies F2a, F3a y F4a se aprecian casi continuas hasta aproximadamente el CDP 1250 del Perfil L1d (Figura 31), lugar donde tienden a acuñarse, mientras que la F1a continúa hasta el CDP 1750, la forma hummocky de la facie F1a indica una perturbación ocasionada por un mayor grado de energía, señalando la posible presencia de un paleocanal que podría dirigirse hacia el Noreste y podría desembocar en el cañón, como un canal tributario, lo cual se explicará más adelante.

Debajo de la Base Ua se observan tres reflectores de fuerte amplitud (color café – Figura 31) que podrían corresponder a plataformas antiguas.

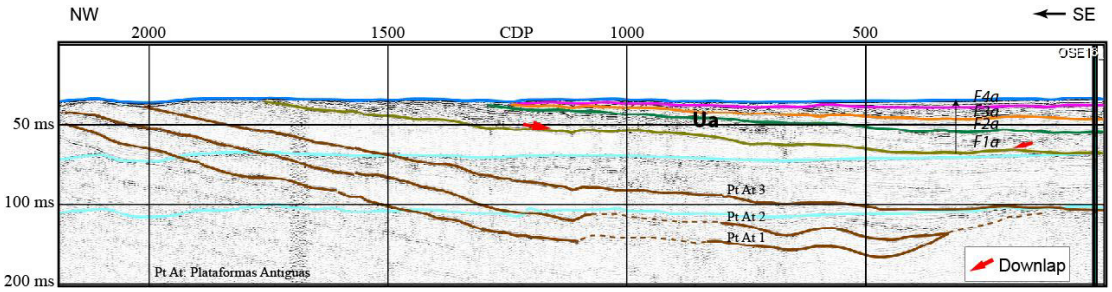


Figura 31. Sección sísmica – Perfil L1d, donde se puede observar la Unidad "Ua", compuesta por las cuatro facies de F1 a F4.

Las líneas sísmicas L24-2, L25, L26 y L27 (Anexos H, I, J y K) ubicadas en su mayoría en el flanco derecho del cañón y en la Plataforma Norte, con la excepción del perfil L27 que se encuentra ubicado en el flanco izquierdo del cañón, describen la presencia de cinco facies. La base de la facie F1d se observa en el perfil L26 – Anexo J (CDP 700 – 1600), con una configuración interna de los reflectores que va de subparalela a drapeada. La facie F2d presentan una configuración de subparalelo a drapeada y en los perfiles L24-

2 y L25 los reflectores se aprecian en partes de forma caótica (L24-2: CDP 2600 – 2900 y L25: CDP 1 – 400 / Anexo H e I); esta disposición de los reflectores indican un grado de energía de medio a posiblemente alto. A partir del CDP 400 en el perfil L25, los reflectores de la facie F2d se ubican siguiendo la inclinación de la pendiente en la que se depositó y tienen la forma de ondas sedimentarias, lo cual también se evidencia en el perfil L26 a partir de aproximadamente el CDP 500 (Figura 32) y se extienden hasta el CDP 1500 llegando hasta el flanco derecho del cañón. Las facies superiores (F3d, F4d y F5d) de los perfiles L24–2, L25, L26 (Anexos: H, I y J) presentan una configuración que va de paralela a subparalela, y esto sugiere un menor grado de energía para la acumulación de los sedimentos. Las facies F3d y F4d contienen reflectores muy marcados que indican la existencia de otro material dentro de estas facies, posiblemente depósitos turbidíticos. En el flanco izquierdo del cañón, en el perfil L26 (CDP´s 3300 – 3600) se continúan distinguiendo las facies antes mencionadas con características similares en la configuración de sus reflectores; en este mismo flanco izquierdo del cañón se encuentra ubicado el perfil L27 (Anexo K) con una disposición casi siguiendo la dirección del cañón; en este perfil los sedimentos tienen una inclinación de aproximadamente 6° que se acuñan en el lecho del cañón y también se evidencia reflectores drapeados, toda esta geometría de los reflectores podría corresponder a una depositación de sedimentos ocurrida durante un evento tectónico, que indica un posible levantamiento en este

flanco del cañón y las facies mencionadas (F2d, F3d, F4d y F5d) se continúan observando hasta acuñarse en el lecho de un canal tributario (Anexo K).

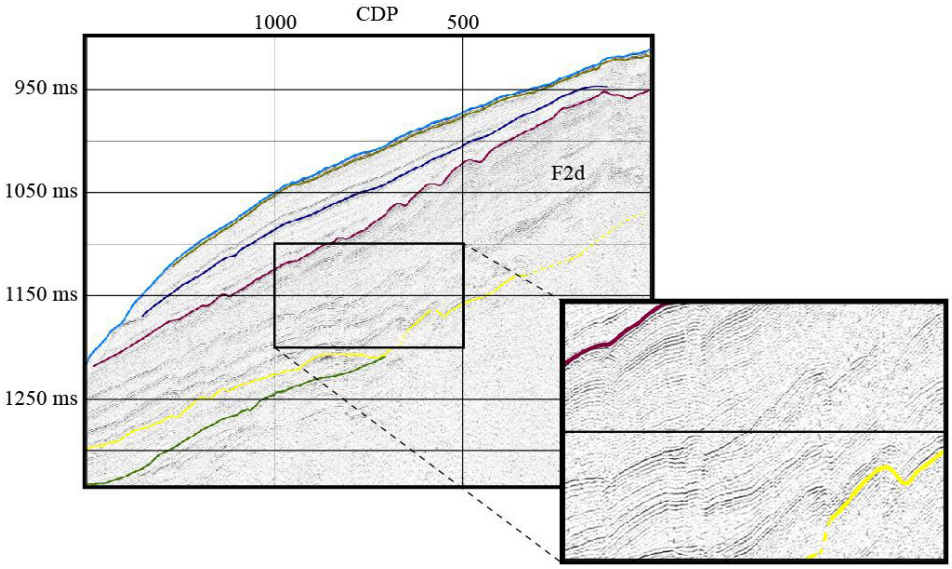


Figura 32. Sección sísmica del perfil L26, zona de ondas sedimentarias.

La unidad “Ue” constituida por seis facies (F1e, F2e, F3e, F4e, F5e y F6e) se distingue en su totalidad en el perfil L27 y ciertas facies en el perfil L28 (Facies F4e y F5e) (Anexos K y L). Las seis facies forman parte del relleno complejo del paleocanal tributario “A” (Figura 33) localizado en el flanco izquierdo del cañón, entre los CDP’s 1500 – 2000 (perfil L27 – Anexo K). En general, los reflectores del paleocanal “A” se encuentran dispuestos de forma paralela a subparalela, y localmente caóticos como en el caso de las facies F1e y F3e que además tienen una amplitud muy baja, en las demás facies las amplitudes son muy variadas. La unidad “Ue” se acomoda en relación lateral con las paredes del paleocanal en onlap. En el CDP 1930 (Anexo K)

se aprecia la formación de un pequeño canal “B” que presenta reflectores correspondientes a las facies F6e. El relleno del paleocanal “C” presenta reflectores que podrían decirse son similares a las facies F3e, F4e, F5e y F6e, y de ser así podría indicar una edad más joven que el paleocanal “A”. La estructura “D” que se muestra en la figura posiblemente se trate de otro paleocanal, pero no se distinguen con claridad los reflectores del relleno y por lo tanto no es posible inferir la similitud a las facies del paleocanal “A”. Las facies F5e y F6e se continúan observando en el perfil L28 (Anexo L) hasta el CDP 500 y que son las facies más superficiales del lecho del cañón de Esmeraldas.

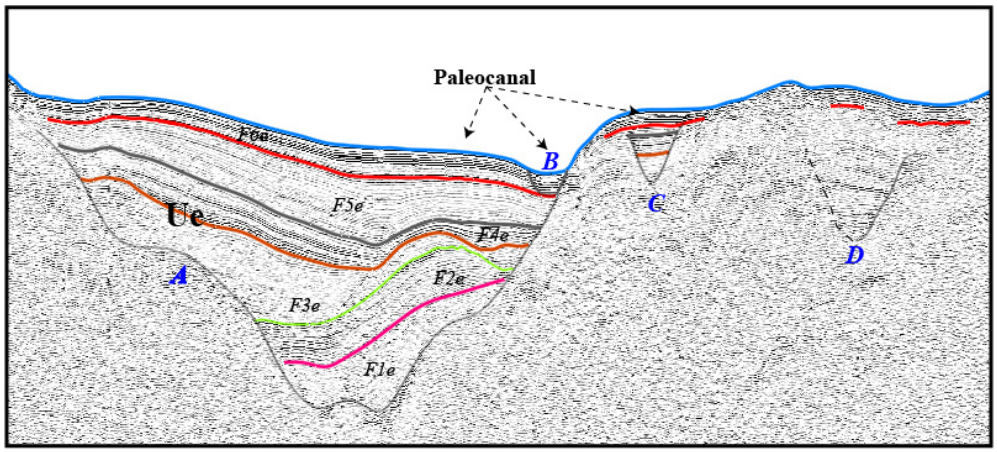


Figura 33. Sección sísmica del perfil L27, que muestra los paleocanales tributarios A, B, C y D localizados al margen izquierdo del lecho cañón de Esmeraldas. La unidad “Ue” corresponde a la unidad de relleno del canal A.

4.2.3 Análisis y Correlación Estructural

En el perfil sísmico L15 (Anexo C) la unidad “Ub” sobreyace (CDP’s 1250 – 4250) a una superficie erosionada o Plataforma Antigua (Figura 34), esta

misma plataforma se observa en los perfiles L1, L1d, L16, L22-2, L23, L28 (del CDP 8500 al 9000) y L29 (Anexos A, B, D, F, G, L y M), estos perfiles están ubicados en la Plataforma Sur del cañón, es decir, la plataforma antigua se extiende sobre la Plataforma Sur hasta llegar al cañón submarino de Esmeraldas, donde ha sido incidido por paleocanales y canales tributarios (perfil L16). Ésta plataforma antigua se encuentra levemente deformada (perfil L15) y sobre ella se han depositado sedimentos más recientes que han tomado la forma de esta topografía truncada. La deformación causada por el plegamiento ha provocado una mayor actividad tectónica que se evidencia a través de las fallas que se extienden desde la plataforma antigua hasta los sedimentos de las facies F1b y F2b pero no alcanzan a perturbar los sedimentos de las facies F3b y Fb'. El perfil L15 está localizado en dirección SW – NE (Figura 22), es decir, paralelo a la línea de costa de Esmeraldas; el plegamiento de la plataforma antigua y los sedimentos superiores tomando la forma de un anticlinal y la presencia de fallas podrían indicar la acción de un esfuerzo comprensivo en dirección NE (?) posiblemente asociado al empuje que ejerce la cordillera de Carnegie (Collot et al., 2009).

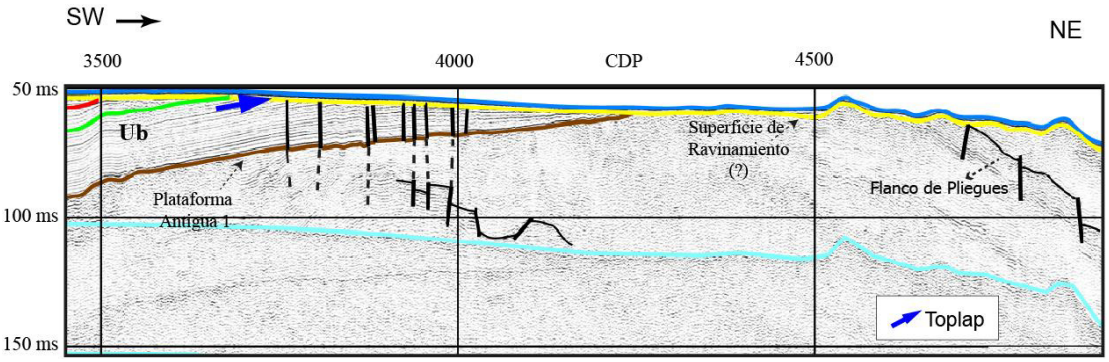


Figura 34. Sección sísmica del perfil L15, identifica la unidad "Ub", sobre un anticlinal truncado.

En el flanco derecho del cañón, en la Plataforma Norte; el perfil L24-2 (Anexo H) presenta las primeras facies (F1d, F2d y F3d) con una tendencia al plegamiento lo que posiblemente ha provocado las fallas localizadas en los CDP's 1250 y 1500. Mientras que la falla ubicada en el CDP 950 se encuentra ubicada en el flanco del cañón. En el perfil L26 (Anexo J), paralelo al perfil L24-2, se observa un deslizamiento gravitacional (slump) entre los CDP's 1600 - 2050, con tres bloques de slumps; las fallas localizadas en el CDP 1500, se han desarrollado en una zona de formación de ondas sedimentarias (figura 32) que podría estar relacionadas con el slump, señalando la acción de la gravedad como causante de la formación de las fallas (CDP 1650 – 1850).

La correlación de los rasgos y facies observados durante este análisis nos señalan:

- La presencia de una Plataforma Antigua que se extiende en la zona de la planicie al Sur del cañón de Esmeraldas y que ha sufrido plegamiento

sobre la cual se han depositado las unidades “Ua” y “Ub”, mostrando a la unidad “Ua” como un relleno de un paleocanal.

- Las facies F2d en los perfiles L24-2, L25 y L26 del flanco derecho del cañón, presentan zonas de ondas sedimentarias y al slump que indican una zona de inestabilidad en este lado del cañón, (Anexo J).

- Existe un paleocanal (Figura 33) ubicado en el margen izquierdo del lecho del cañón que podría corresponder a un tributario que transportó los sedimentos desde la planicie Sur al cañón.

- Las facies sísmicas F1f, F2f, F3f, F4f, F1g, F2g, F3g y F4g identificadas en el perfil L28 (Anexo L), no han sido posibles correlacionarlas con los perfiles adyacentes, por lo tanto se las ha tratado como facies independientes ubicadas en el lecho del cañón del Esmeraldas.

CAPÍTULO 5

INTEGRACIÓN MORFOLÓGICA Y SÍSMICA PARA LA INTERPRETACIÓN DE ZONAS TECTÓNICAS ACTIVAS

De las características mencionadas en el capítulo 4, la actividad tectónica y los rasgos morfológicos observados con la sísmica y batimetría de alta resolución es posible proponer una historia de la evolución de la Plataforma de Esmeraldas y del cañón a partir del análisis de la última glaciación (18.000 años) cuando el nivel del mar se encontraba a -120 m.

5.1 Evolución Tectónica.

En la plataforma Sur de Esmeraldas, los reflectores de la Plataforma Antigua conforman los flancos de un anticlinal (Plataforma 1 - Figura 35) que ha sido erosionado posiblemente debido a las variaciones glacio-eustáticas. En el perfil L15 – Anexo C se aprecia otra superficie erosionada (línea color amarilla – Figura 34) que podría tratarse de una superficie de ravinamiento (superficie generada por erosión de olas) sobre la que se depositó la facie Fb', y que además trunca el anticlinal y erosiona la unidad "Ub". En el perfil

L1d – Anexo B se puede distinguir la misma Plataforma Antigua (Plataforma 1) como el flanco del anticlinal (Figura 35), la forma uniforme del espesor de los reflectores de estas Plataformas (entre la plataforma 1 hasta la 3) nos indica que la depositación de los sedimentos se dio antes de la deformación de los mismos por lo tanto la depositación podría considerarse pre-tectónica. Cuando esta zona empieza a plegarse, los sedimentos entre la Plataforma Antigua 3 y la base de la unidad "Ua" (línea color verde) se van depositando y deformando al mismo tiempo que se produce el plegamiento (depositación sintectónica); debido a que el espesor de los sedimentos próximos a la zona de levantamiento es menor que el espesor de los sedimentos que se encuentran en la zona del sinclinal. Mientras el plegamiento tiene lugar los sedimentos de la unidad "Ub" se depositan sobre la plataforma antigua 1 (perfil L15, Anexo C).

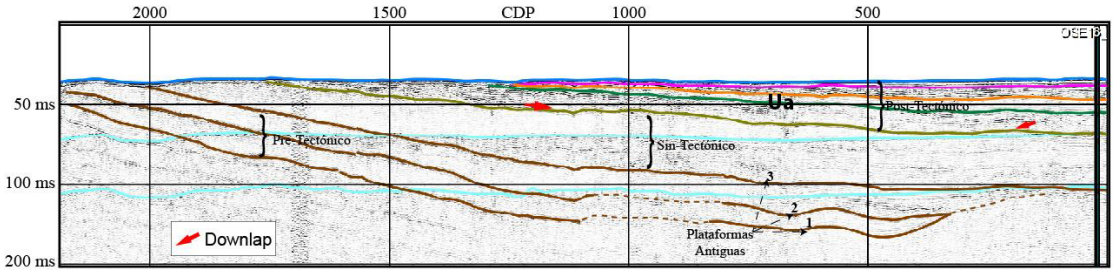


Figura 35. Sección sísmica que identifica la depositación de las unidades "Ua" y "Ub" afectadas por la presencia de un anticlinal que ha sido truncado

Finalmente los sedimentos depositados sobre el plegamiento son los que conforman la unidad "Ua", siendo la base de esta unidad (línea color verde) parte de un canal que ha sido rellenado parcialmente (?) y que podría

localizarse paralelo a la línea de costa, y probablemente llegue hasta el cañón de Esmeraldas como un canal tributario que podría aún estar activo (CDP 6100 o CDP 4200, Anexo D) (Figura 36). La tendencia general de los cañones o canales es transportar los sedimentos desde el continente hacia la fosa, pero en este caso la presencia del anticlinal al parecer ha desviado la dirección de este canal, dirigiendo los sedimentos hacia el cañón submarino de Esmeraldas. La deformación observada en esta zona del margen costero podría deberse a que el flanco norte de la Cordillera de Carnegie subyace en dirección NE bajo la placa Sudamericana (Collot et al., 2009).

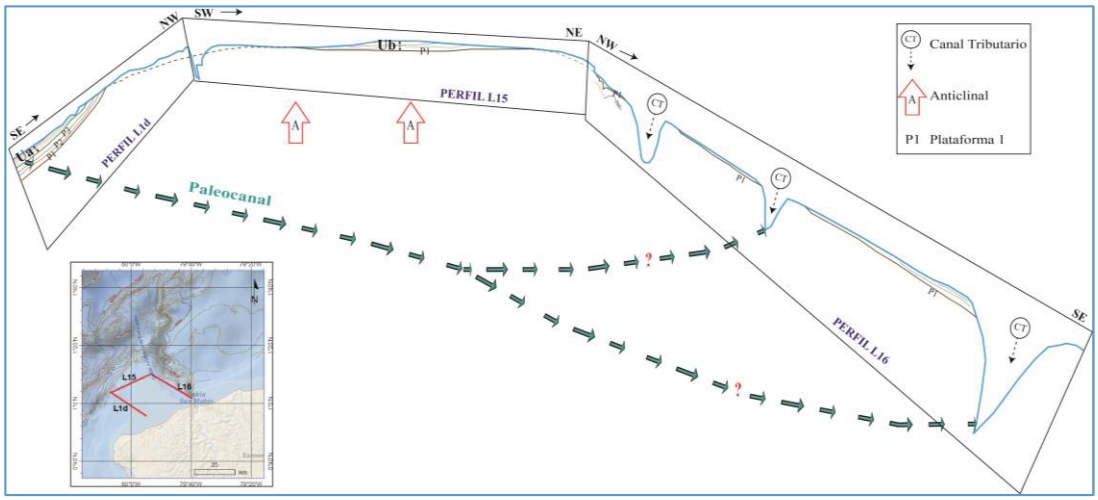


Figura 36. Esquema que identifica la depositación de las unidades “Ua” y “Ub” afectadas por la presencia de un anticlinal que ha sido truncado y la posible trayectoria del paleocanal

En la zona donde se encuentra localizado el perfil L15 (anexo C), se puede observar la presencia de fallas a lo largo de todo el perfil, especialmente en la unidad “Ub” afectando las facies F1b y F2b posiblemente producidas durante la formación del anticlinal.

En la línea sísmica L24-2 (Anexo H) en la plataforma norte, en el flanco derecho del cañón, se observa dos eventos de tectonismo. En el primer los reflectores que conforman la Facie F1d varían de espesor y tienden a acuñarse en los CDP's 1200 y 2400 (Anexo H), lo cual podría significar que esta facie de sedimentos se depositó al mismo tiempo del plegamiento (sin-tectónico 1). Durante la depositación de las facies F2d y F3d no existe evidencia de deformación, debido a que el espesor de sus reflectores se mantienen uniformes a lo largo de toda la sección sísmica, por lo tanto se podría decir que estas facies se depositaron en un evento anterior al segundo evento tectónico (pre-tectónico 2). Las facies F4d y F5d se han depositado al mismo tiempo que están sufriendo un plegamiento (evento sin-tectónico 2), Figura 37. Los reflectores de las facies F1d (L24-2) presentan una configuración hummocky a medida que se acercan al flanco derecho del cañón (L24-2), pero a medida que se aleja del cañón se disponen en subparalelo; en la facie F2d se observa la presencia de un campo de ondas sedimentarias que se evidencia mejor en el perfil L26 (Anexo J); estas facies señalan la dinámica ocurrida durante la incisión de la plataforma durante la formación del cañón. La facie F1d se ve afectada por la actividad propia del cañón, mientras que la facie F2d es afectada por la gravedad, debido a que los sedimentos se depositaron en una superficie inclinada. Las facies superiores (F3d, F4d y F5d) con alturas distantes al lecho del cañón sugieren posiblemente una depositación en un ambiente de mayor quietud.

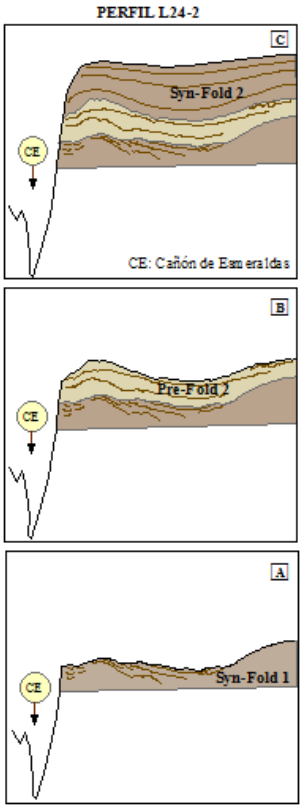


Figura 37. Etapas de tectonismo usando el perfil L24-2. (A) Primera etapa de plegamiento; (B) Deposición sin deformación, pre-plegamiento; (C) Segunda etapa de plegamiento

5.2 Edad Relativa de las Unidades Sísmicas Reconocidas

Dentro de los cambios eustáticos globales, la última glaciación se dio hace 18 ka, y el nivel del mar descendió aproximadamente 120 m en relación al nivel actual del mar.

Los perfiles sísmicos (L1 y L1d, Anexos A y B) más próximos a la plataforma de Esmeraldas (Figura 22), revelan una plataforma antigua, que podría haber sido erosionada durante esta última glaciación, de manera que el nivel del mar bajó 120 m y la superficie quedó expuesta a procesos erosivos

subaéreos. Para deducir la edad relativa de esta superficie (“Plataforma Antigua 1” – Figura 35) se parte del conocimiento del reflector de esta plataforma a una profundidad determinada y conociendo la velocidad a la que viajan las ondas en esta sección del perfil, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{Profundidad} = \frac{TWTT * Velocidad}{2}$$

Para este cálculo se usa el perfil L1d, donde se determina la potencia de la columna de agua en ~33 ms (TWTT) y de la “Plataforma Antigua 1” en ~96 ms (TWTT), es decir que el tiempo de viaje de la onda sísmica hasta estas dos superficies es de ~0,016 y ~0,048 segundos respectivamente. Considerando una velocidad de propagación de la onda sísmica en sedimentos superficiales de 2000 m/s y para la columna de agua de 1500 m/s, se obtiene como resultado una profundidad ~ 120 m, que corresponde a la profundidad a la que descendió el mar hace 18 ka. Por lo tanto, los sedimentos que se hubiesen depositado por encima de esta plataforma serán menores a 18 ka.

5.3 Principales Rasgos Geomorfológicos del área

En el capítulo 4 se caracteriza la morfología utilizando la batimetría, en este apartado se hace un análisis más detallado de los rasgos geomorfológicos más importantes (Figura 38):

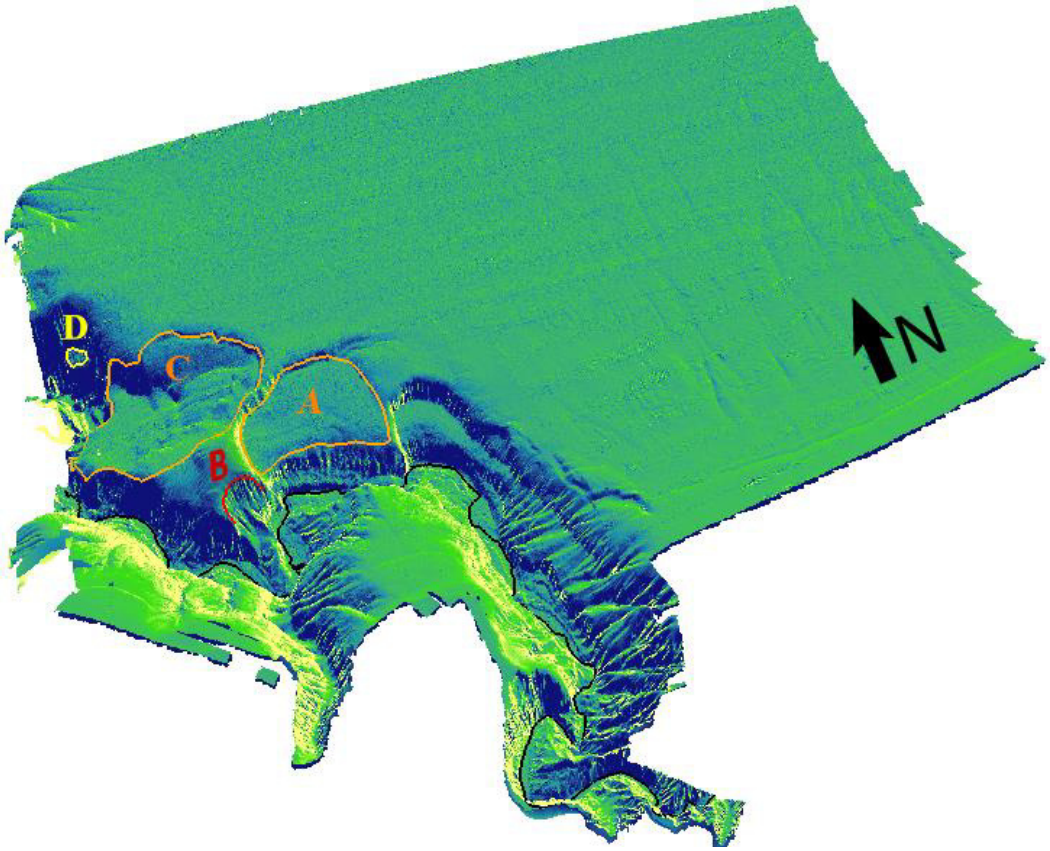


Figura 38. Ubicación de los principales rasgos geomorfológicos del cañón submarino.

Los rasgos A y C corresponden a antiguos meandros. En el perfil sísmico L22-1 (Anexo E) ubicado en el paleomeandro “A” en el flanco derecho del cañón (Figura 22) se pueden observar dos paleocanales de este paleomeandro, los mismos que han sido rellenados, según muestran los reflectores dispuestos en forma paralela, con un bajo grado de energía (Figura 39).

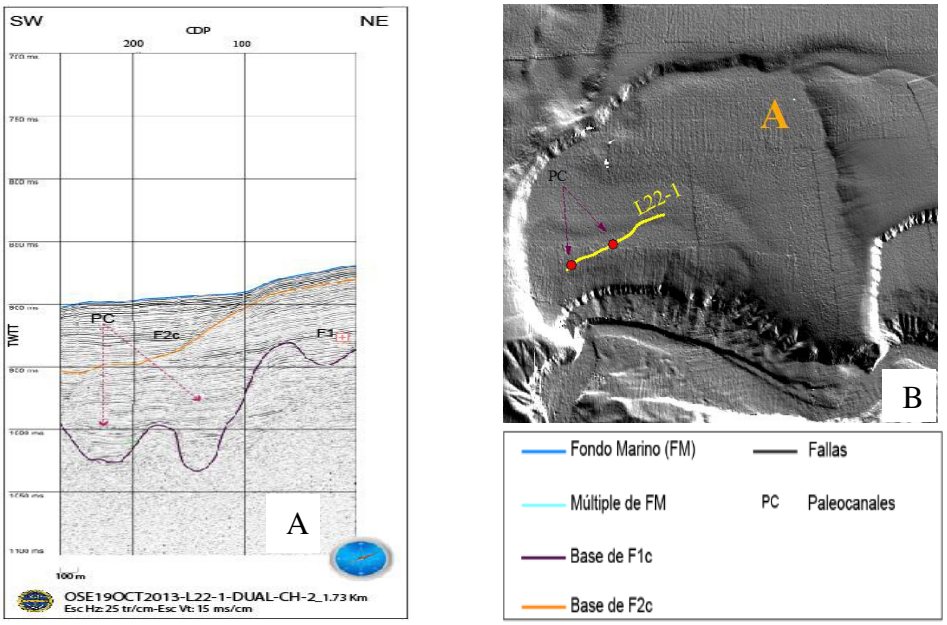


Figura 39. A) Imagen sísmica que muestra los paleocanales en un paleomeandro **B)** MDT del paleomeandro A, indicando los paleocanales encontrados en el perfil L22-1

El paleomeandro C presenta tres terrazas (Figura 19, perfil C – C'). La terraza T1 tiene una altura de 15 a 20 m, la T2 tiene una altura de 40 m con respecto a T1 y la terraza T3 tiene una altura aproximada de 100 m con respecto a T2, y en la morfología se puede observar que está expuesta a una continua erosión.

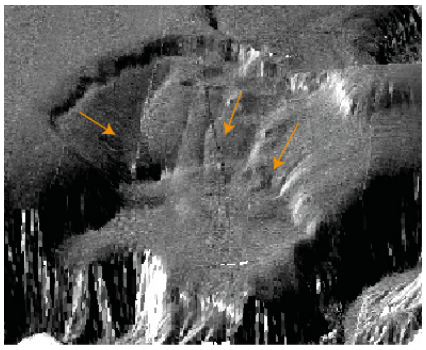


Figura 40. Paleomeandro que ha sufrido una continua erosión. Las flechas de color naranja indican la dirección del deslizamiento

El rasgo B (Figura 40) presenta cicatrices de deslizamiento, y un movimiento de masa de ~1 km de ancho ha avanzado aproximadamente 2 km en dirección hacia el canal principal del cañón, y ha actuado como una barrera que ha desviado el curso los sedimentos en otro sentido formando un rasgo en U. El deslizamiento parece antiguo, y el escarpe que se produjo por esta causa, presenta la pared erosionada.

El rasgo D (figura 40) corresponde a un bloque gravitacional (slump) en el flanco derecho del cañón, que tiene un área de ~ 0,5 km^2 y una altura de aproximadamente 370 m sobre el canal. El escarpe principal tiene forma circular, y la pendiente alcanza ~80°, un valor que es semejante a la pendiente que presenta el flanco del bloque deslizado. Cercana a este zona, a ~1 km al norte de este rasgo se observa en el perfil L24-2 la presencia de una falla que podría estar relacionada con este rasgo.

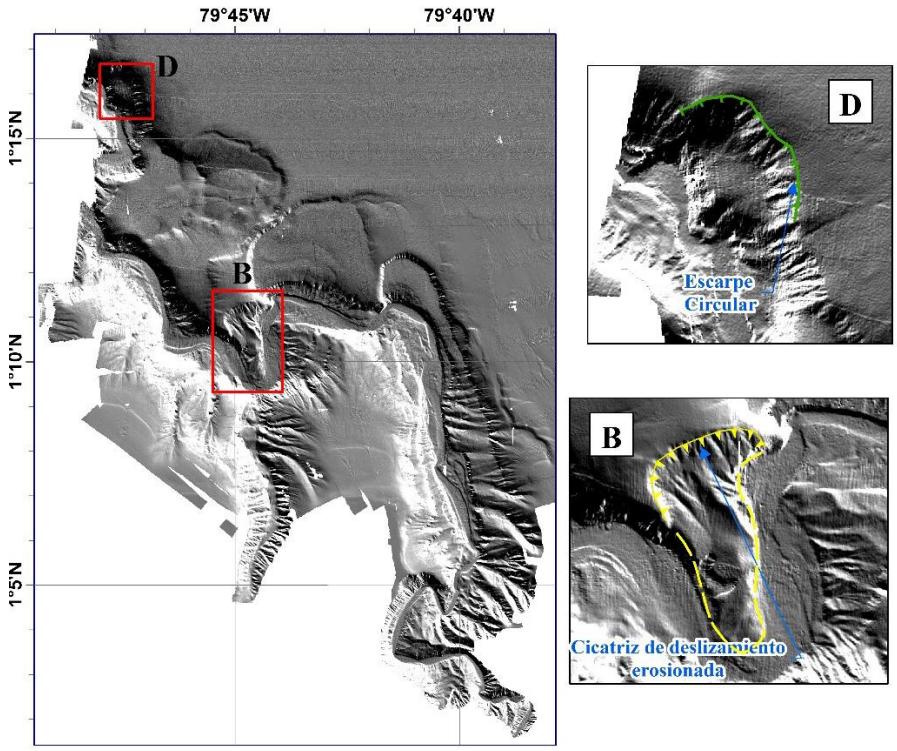


Figura 41. Rasgos Geomorfológicos indicando un antiguo deslizamiento en forma de U (B) y el bloque gravitacional (D) ubicados en el flanco derecho del cañón y marcan las estrías de deslizamiento.

5.4 Áreas con potenciales peligros geológicos

Como ya se ha mencionado Esmeraldas se encuentra ubicado en una zona de mucha actividad tectónica, existen estructuras profundas que podrían evidenciar peligros geológicos, pero debido a que la sísmica usada es de muy alta resolución y por ende de menor penetración de las ondas sísmicas, nos centraremos en estructuras más superficiales que afectan a los sedimentos más superficiales.

A través de los datos batimétricos y sísmicos levantados durante el proyecto MARGE y complementando esta información con la batimetría de campaña

AMADEUS (IRD, 2005) para cubrir los perfiles sísmicos de éste área de estudio, se determinan las zonas con posibles peligros geológicos.

En la Plataforma Sur del cañón se observan fallas que se formaron como consecuencia del pliegue anticlinal (Perfil L15). Estas fallas se extienden hasta las facies F1b y F2b que sobreyacen el anticlinal, pero que no llegan hasta la facie F3b cuyos reflectores se encuentran paralelas, e indican que no son afectados por las fallas. En la Plataforma Norte del cañón se evidencian fallas posiblemente atribuidas a un ligero plegamiento (perfil L24-2), pero al igual que en el caso anterior no llegan a la superficie. La figura 41 muestra la localización de las fallas superficiales identificadas en los perfiles sísmicos.

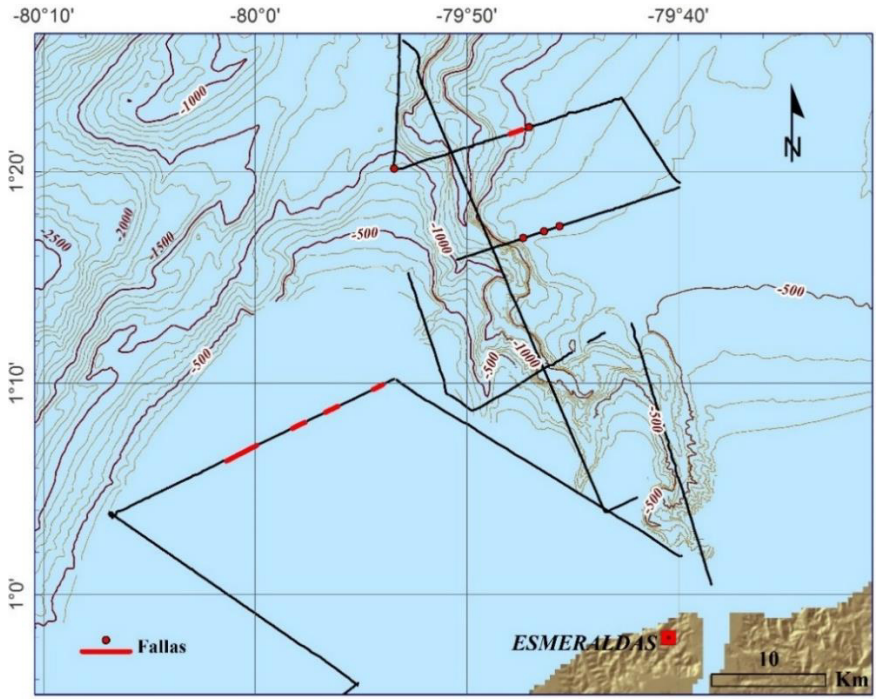


Figura 42. Mapa de localización de Fallas superficiales identificadas en los perfiles sísmicos Sparker a lo largo de la plataforma y el cañón de Esmeraldas, proyecto MARGE.

En la plataforma norte del cañón se observan dos áreas con posibles peligros geológicos (Figura 42). En la zona A, de acuerdo a la línea L24-2 se observa una falla (CDP 950) cercana al flanco derecho del cañón (Anexo H), que podría provocar el descenso del material hacia el fondo del cañón; con la sísmica usada no se puede determinar la continuidad de la falla en profundidad a partir de la facie F1d. De este mismo lado del flanco entre los CDP's 1500 – 1900 del perfil L26 (Anexo J) se observa zona de mayor actividad debido a la presencia de slumps, y correlacionando este perfil con la batimetría de la campaña AMADEUS se pueden observan que se trata de bloques caídos (Figura 43).

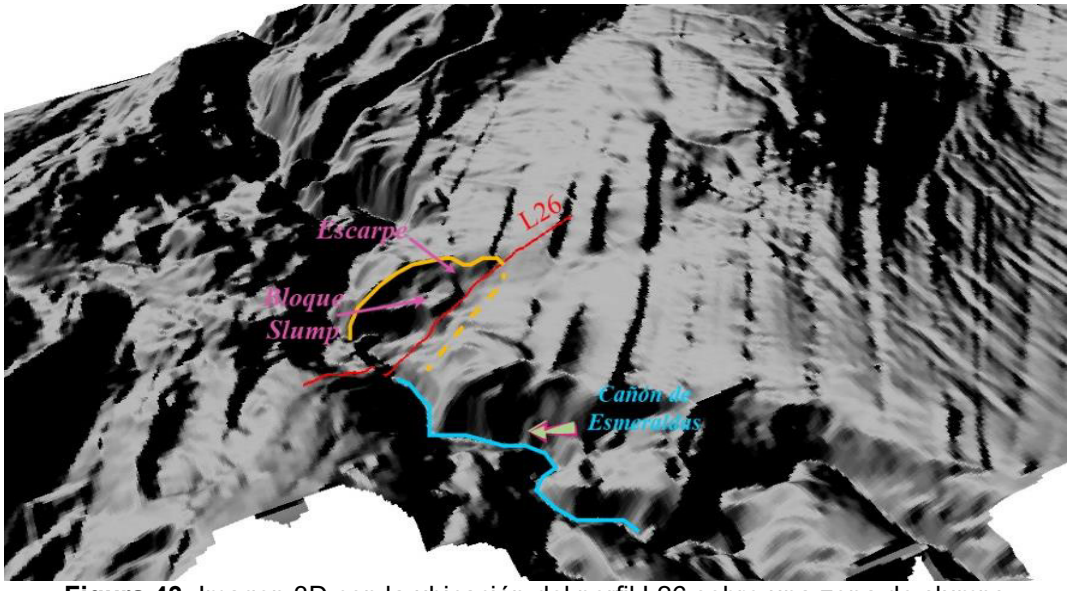
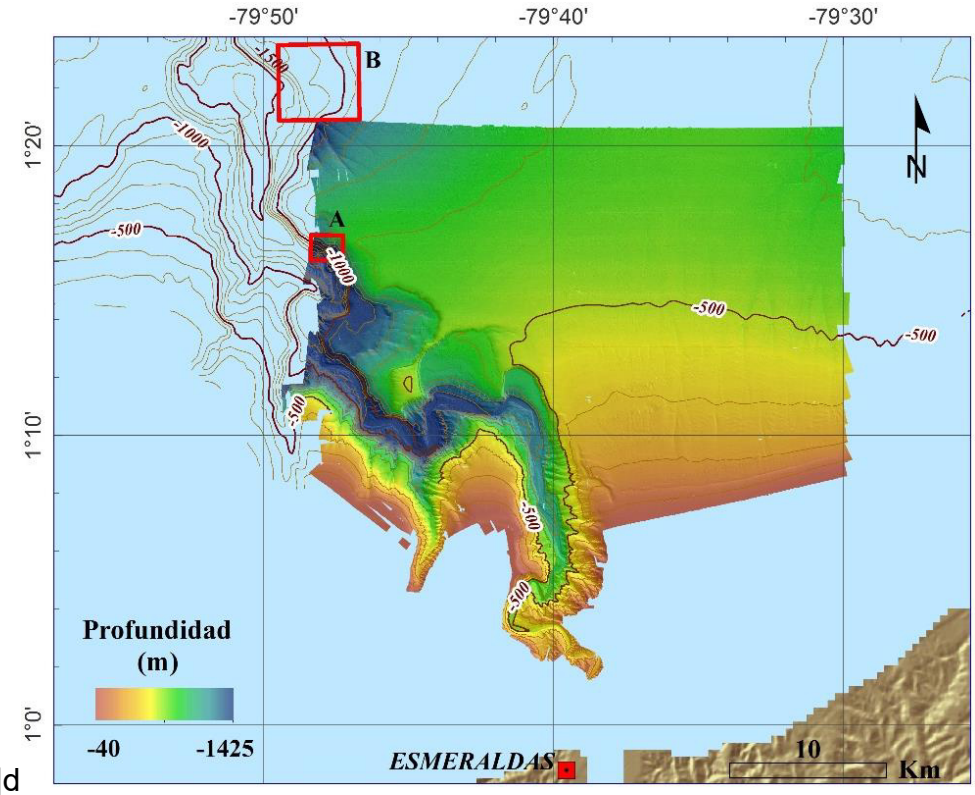


Figura 43. Imagen 3D con la ubicación del perfil L26 sobre una zona de slumps

En relación a las dos zonas anteriormente mencionadas se identifican los lugares de posibles peligros geológicos (Figura 44):



|d

Figura 44. Mapa de ubicación de áreas inestables, basado en la información sísmica y batimétrica del Proyecto MARGE, y la batimetría de la Campaña AMADEUS.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

De acuerdo al análisis morfológico se puede concluir que:

1 Los rasgos geomorfológicos (formación de paleomeandros, terrazas y deslizamientos) de mayor relevancia en esta área de estudio se encuentran ubicados en la plataforma norte (margen derecho) del cañón, donde se puede evidenciar una mayor depositación debido a la formación de diferentes niveles de terrazas.

2 La plataforma sur (margen izquierdo) del cañón es ~100 m más elevada que la plataforma norte y está cortada por canales tributarios que aportan con sedimentos al cañón, lo que indica que existe una mayor erosión en este sector.

3 El cañón presenta fuertes pendientes, diferentes trayectorias y localmente se presentan slumps, y deslizamientos que han desviado el curso del mismo, lo que muestra una dinámica muy variada y continua que ha sido un factor importante en el modelado del lecho del cañón.

A partir del análisis de la sísmica se concluye que:

4 El levantamiento de las plataformas antiguas encontradas, el sinclinal formado por el mismo levamiento y las fallas identificadas como consecuencia de este plegamiento, indica un tectonismo activo en la plataforma sur del cañón submarino de Esmeraldas.

5 La deformación de los sedimentos en el margen derecho del cañón, la presencia de fallas y zonas de slumps como producto de esta deformación, también evidencia una zona tectónicamente activa y de mucha dinámica.

6 El paleocanal localizado en la Plataforma Sur se ha formado luego de un proceso post-tectónico, y su curso estaría influenciado por la presencia de un anticlinal. Este paleocanal posiblemente continua activo en dirección hacia el NE y constituye un canal tributario del cañón submarino de Esmeraldas.

7 La edad relativa de la Plataforma Antigua 1 es de ~18 ka, que corresponde a la edad de la última glaciación, cuando el nivel del mar descendió ~120 m, por lo tanto el anticlinal formado después de la depositación de los sedimentos de la Plataforma tendrían una edad relativa menor a 18 ka.

De lo anteriormente mencionado se puede decir que el anticlinal truncado localizado en la Plataforma Sur del cañón estaría controlando la morfología y la sedimentación del margen izquierdo en este sector del cañón, dando lugar a una mayor erosión. Por otro lado, las paredes del flanco derecho son escarpadas y los sedimentos adyacentes al cañón tienden a acumularse en esta zona que es menor pendiente (~10°).

Las zonas más propensas a generar posibles peligros geológicos de acuerdo a la sísmica levantada en este proyecto, se encuentran en las zonas de fallas, las mismas que están ubicadas en el flanco derecho del cañón, evidenciados por un campo de ondas sedimentarias causada por acción de la gravedad.

Recomendaciones

1 Ampliar el área de levantamiento batimétrico de alta resolución: a lo largo del segundo segmento del cañón para corroborar la prolongación de la falla de Esmeraldas en la plataforma; y trazar una línea sísmica

entre los perfiles L1d y L16 que permitan determinar la continuidad del paleocanal y la variación del nivel.

2 Mejorar el tratamiento de las líneas sísmicas para una mejor visualización de los perfiles en áreas donde no fue posible observar, por ejemplo los perfiles que se levantaron en la cabecera del cañón.

3 Correlacionar la sísmica Sparker con sísmica de mayor penetración para determinar la continuidad de las fallas activas de la plataforma sur del cañón en profundidad

BIBLIOGRAFÍA

1. Aalto, K.R., y Miller, W., Sedimentology of the Pliocene Upper Onzole Formation, an inner – trench slope succession in nortwestern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences,* 1999, p 12.
2. Aspectos Técnicos, científicos y jurídicos de los espacios marítimos del Ecuador respecto a la CONVEMAR.
3. Badley, M.E., Practical Seismic Interpretation, *IHRDC Press, Boston, MA,* 1985, p 2-3, 71-84
4. Baldock, J.W., Geología del Ecuador. Boletín de la explicación del mapa geológico de la República del Ecuador, Esc. 1:1,000.000. Direc. Gen. Geol. Minas, 1982
5. Beñat Retolaza Arrieta, Tutorial de Adquisición de datos y condicionamiento de la señal – Universidad del País Vasco
6. Case, J.E., Duran, S.L.G., López, A., y Moore, W.R., Tectonic investigations in western Colombia and eastern Panama, *Geological Society of Amercia Bulletin, 82*, 1971, p 2685 – 2711
7. Catuneanu, O., Principles of Sequence Stratigraphic, *Elsevier's Science,* 2006, p 105 - 109
8. Collot, J.Y., Michaud, F., Sosson, M., Ratzov, G., Migeon, S., Alvarado, A., Marcaillou, B., Calahorrano, A., y Pazmiño, A., Visión general de la morfología submarina del margen convergente del

Ecudor-Sur de Colombia: implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la Cordillera de Carnegie, *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador,* 2009, p 60 – 71

9. Collot, J.Y., Migeon S., Spence, G., Legonidec, Y., Marcaillou, b., Schneider, J.L., Michaud, F., Alvarado, A., Lebrun, J.F., Sosson, M., y Pazmiño, A., Seafloor margin map helps in understanding subduction earthquakes, *EOS, 86(46),* 2005, p 463 – 465
10. Cromwell, T., y Reid J.L., A study of oceanic fronts, *Tellus, 8 (1),* 1956, p 94 – 100
11. De Mets, C., Gordon, R.G., Argus D.F., y Stein S., Current plate motions, *Geophys. J Int., 101*, 1990, p 425 – 478
12. E., Labracherie, M., Sea level and deep water temperature changes derived from benthonic foraminifera isotopic records. *Quaternary Science Reviews 21*, 2002, p 295–305.
13. Ego, F., Sébrier, M., y Yepez, H., Is the Cauca-Patia and Romeral fault system left or right lateral?, *Geophysical Research Letters, 22,* 1995, p 33 – 36
14. Evans, C.D.R., y Whittaker, J.E., The geology of the western part of the Borbon Basin North-West Ecuador. *Geological Society, London, Special Publications, vol. 10,* 1982, p 191 - 198

15. Fernades, J.C. Análisis y Modelaje de atributos sísmicos en la región de Monagas, utilizando datos sísmicos 2D, trabajo especial de grado – Universidad Central de Venezuela, 2002.
16. Gutscher, M.A., J. Malavieille, Lallemand, S., y Collot, J.Y., Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision, *Earth Planet. Sci. Lett., 168,* 1999, p 255 – 268
17. Kongsberg Marine AS, EM Technical Note, Advanced filters and ganins for EM 2040, EM 710, EM 302 and EM 122, 2013.
18. Lambeck, K., Chappell, J., Sea level change through the last glacial cycle. *Science 292,* 2001, p 679 – 684
19. Luzieux, L.D.A., Heller, F., Spikings, R., Vallejo, C.F., Winkler, S., Origin and cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S. *Earth Planet. Sci. Letters 249,* 2006, p 400 – 414
20. Manual de usuario de Geosuite AllWorks, *Geo Marine Survey Systems, V 2.5*, 2014
21. Michaud, F., Ratzov, G., Sallarès, V., Collot, J.Y., Pazmiño, N., De la Torre, G., Métodos e instrumentación acústica para la exploración en geofísica marina, *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador,* 2009, p 8-12, 17-23
22. Mitchum J. R., Vail P. R., Sangree J. B., Stratigraphic interpretation of seismic reflection pattern in depositional sequences, In: C.E. Payton,

Ed., Seismic stratigraphy, application to hydrocarbon exploration, 1977.

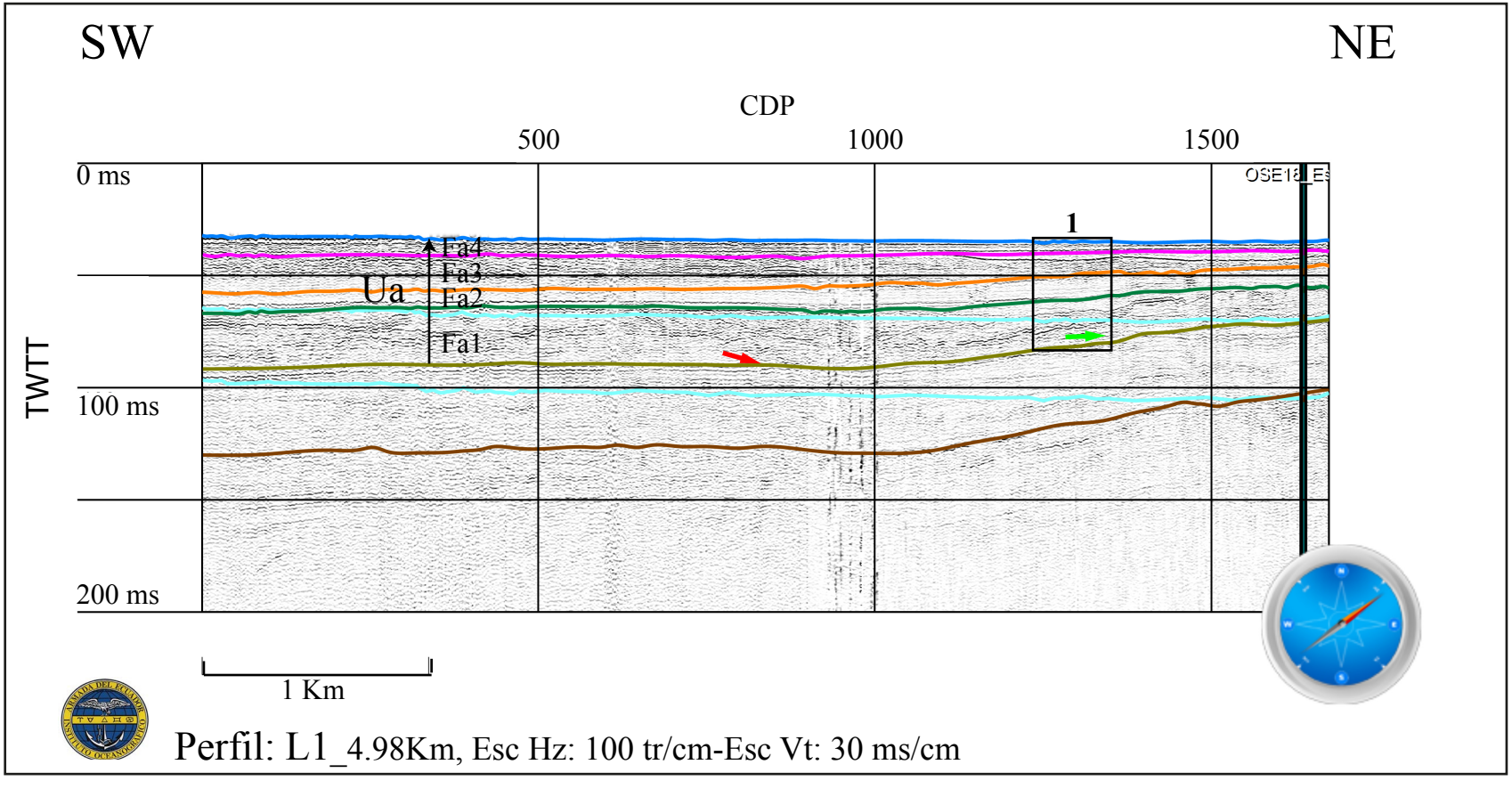
23. Pazmiño, N., y Michaud, F., Descripción de los sedimentos Marinos en la Cordillera Submarina de Carnegie, *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador,* 2009, p 242 – 244
24. Reyes P., y Michaud F., Mapa Geológico de la Margen Costera Ecuatoriana (1:500000). EP PetroEcuador – IRD (Eds) Quito, Ecuador, 2012
25. Roksandi'c Seismic facies analysis concepts, Geophys. Prosp., 1978.
26. Sangree J. B., Widmier J. M., Seismic interpretation of clastic depositional facies, In: C.E. Payton, Ed., Seismic stratigraphy, application to hydrocarbon exploration, 1977.
27. Savoyat, E., Vernet, R., Sigal, J., Mosquera, C., Granja, J., y Guevara, G., Estudio geológico general de la Cuenca de Esmeraldas. Estudio mipropaleontológico parcial de las formaciones de la Sierra. *Ins. Francés del Petróleo; Servicio Nacional de Geología y Minería,* 1970 (inédito)
28. Sheriff R. B., Seismic stratigraphy – IHRDC, 1980.
29. Silva, P., Análisis Morfológico y Estructural del cañón submarino del río Esmeraldas a partir de datos de Geofísica Marina, Tesis de grado de tercer nivel – Escuela Politécnica Nacional, 2007

30. Smith en Mosquer (C.F.) Viaje de reconocimiento y estudio por el río Santiago, *Bol. Inf. Cient. Nac.,* 1949, p 18 y 21
31. Stainforth, R.M., 1948. Applied micropaleontology in coastal Ecuador, *Journal of Paleontology, vol 22, N° 2,* 1948, p. 143
32. Stirling, C.H., Esat, T.M., Lambeck, K., y McCulloch, M.T., Timing and duration of the Last Interglacial: evidence for a restricted interval of widespread coral reef growth. *Earth and Planetary Science Letters 160*, 1998, p 745–762.
33. Toboada, A., Rivera, L., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bjwaard, H., Olaya, J., y Rivera, C., Geodynamics of the northern Andes: subductions and intracontinental deformation (Colombia), tectonics, 19, 2000, p 788
34. Trenkamp, R., Kellogg, J.N., Freymueller, J.T., y Mora, P., Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations, *Journal of South American Earth Sciences, 15,* 2002, p 158 – 168
35. Tsuchiya, M., y Talley, L.D., A Pacifc hydrographic section at 88°W: Water-property distribution, *J. Geophys. Res., 103 (C6),* 1998
36. Van Wagoner J. C., Posamentier H. W., Mitchum R. M., Vail P. R., Sarg J. F., Loutit T. S., Hardenbol J., An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions, In: C. K. Wilgus, B. S. Hasting, C. G. ST. C Kendall, H. W. Posamentier, C. A. Ross, J. C.

Van Wagoner, Eds., Sea – Level change, An integrated approach, 1988.

37. Villamar, R., Subduction de la Ride de Carnegie sous la marge d'Equateur: structure et déformation à partir des données de sismique réflexion multitrace, DEA thesis, Université Pierre et Marie Curie, 36, 2001, p 104 – 107
38. Waelbroeck, C., Labeyrie, L., Michel, E., Duplessy, J.C., McManus, J.F., Lambeck, K., Balbon.
39. Wooster, W., Equatorial front between Peru and galapagos. Deep. Sea Res. Supl. Vol 16: p 407, 419.

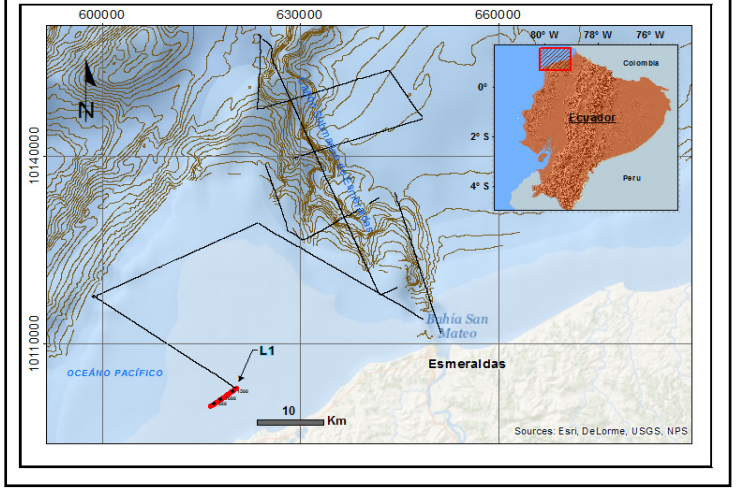
ANEXOS



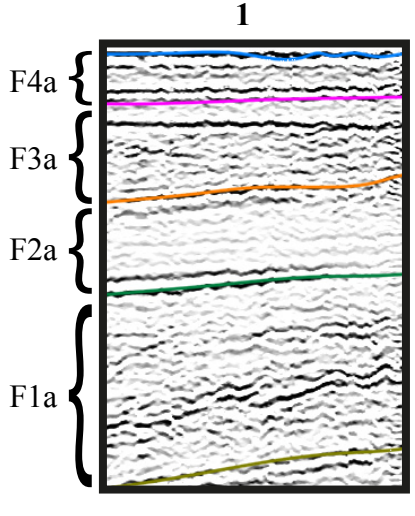
Perfil: L1_4.98Km, Esc Hz: 100 tr/cm-Esc Vt: 30 ms/cm

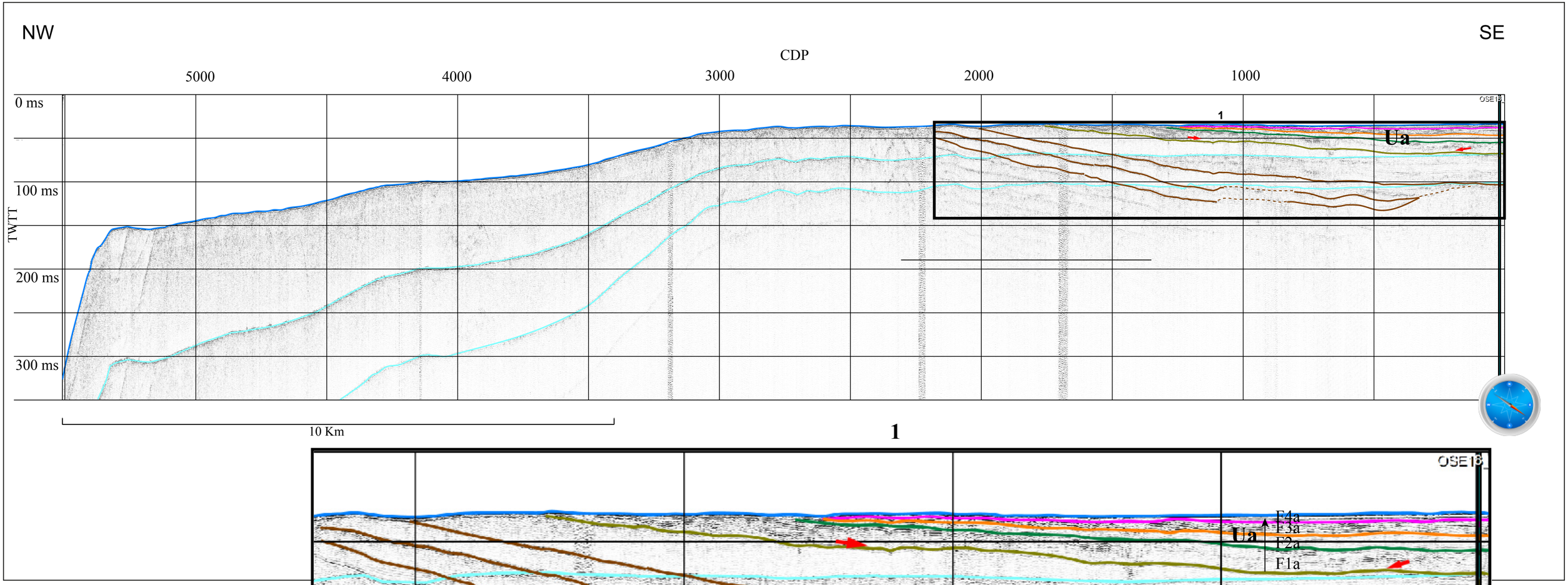
ANEXO A: Perfil Sísmico L1

MAPA DE UBICACIÓN

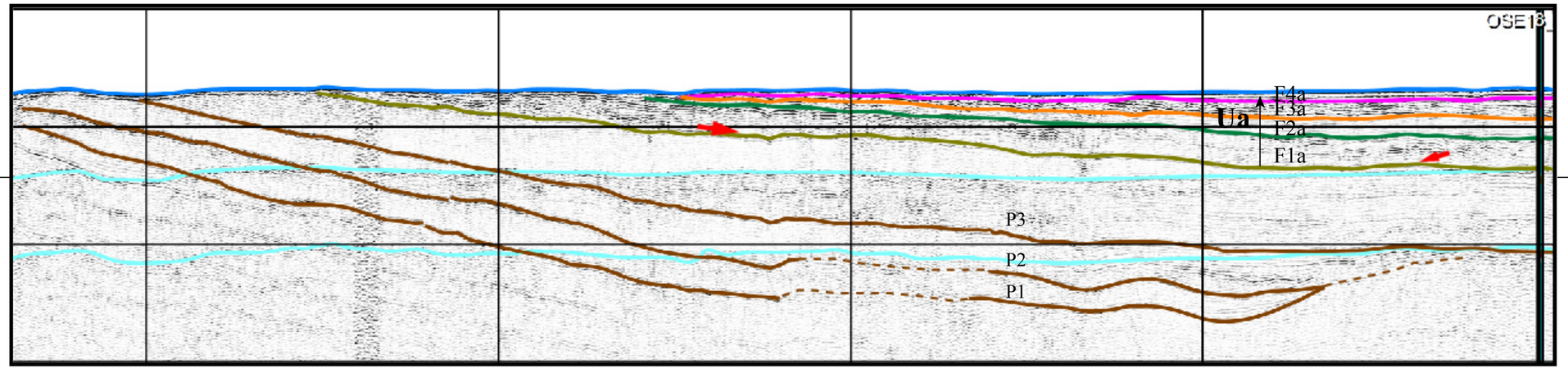


- Fondo Marino (FM)
- Múltiple de FM
- Plataformas Antigulas
- Base F1a
- Base F2a
- Base F3a
- Base F4a
- Downlap
- Onlap

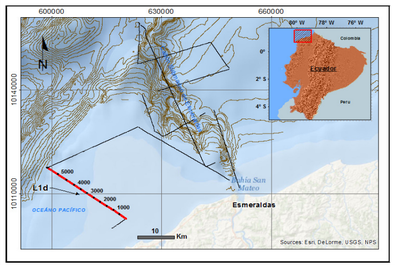




1



MAPA DE UBICACIÓN

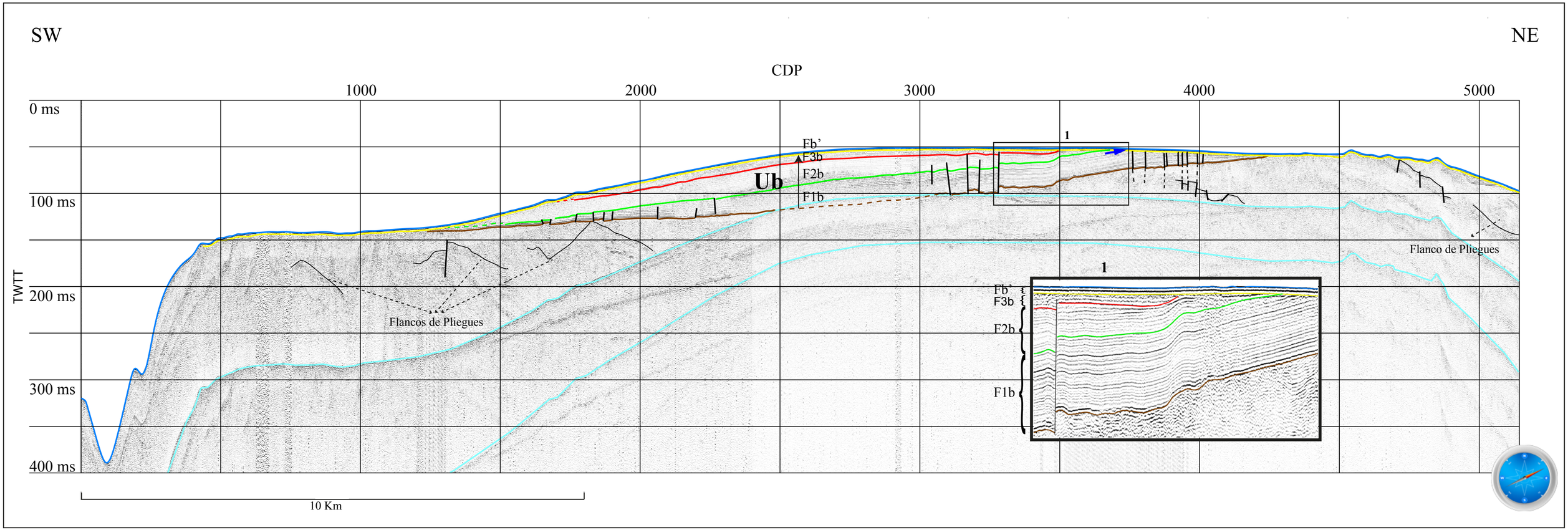


Fondo Marino (FM) | Plataformas Antigulas | Base F2a | Base F4a

Múltiple de FM | Base Fa1 | Base F3a | Downlap

Perfil: L1d_26.14Km, Esc Hz: 100 tr/cm - Esc Vt: 30 ms/cm

ANEXO B: Perfil Sísmico L1d

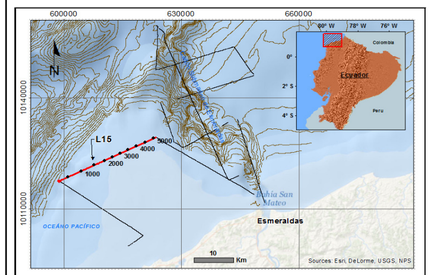


ANEXO C: Perfil Sísmico L15

Fondo Marino (FM) | Base F2b | Base Fb' | Plataformas Antiguas | Toplap

Múltiple de FM | Base F3b | Fallas | Pliegues

MAPA DE UBICACIÓN



Perfil: L15_28.6Km, Esc Hz: 100 tr/cm-Esc Vt: 30 ms/cm

NW

SE

CDP

1000 2000 3000 4000 5000 6000

0 ms

100 ms

200 ms

300 ms

400 ms

TWTT

OSEG_L16

OSEG_L29

C

C

Flanco de pliegue

PC

Paleocanal (?)

10 Km

PERFIL: L16_29.44Km, Esc Hz: 100 tr/cm-Esc Vt: 30 ms/cm

Fondo Marino (FM)

Múltiple de FM

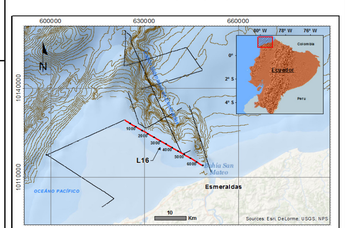
Plataforma Antigua

Fallas

PC Paleocanales

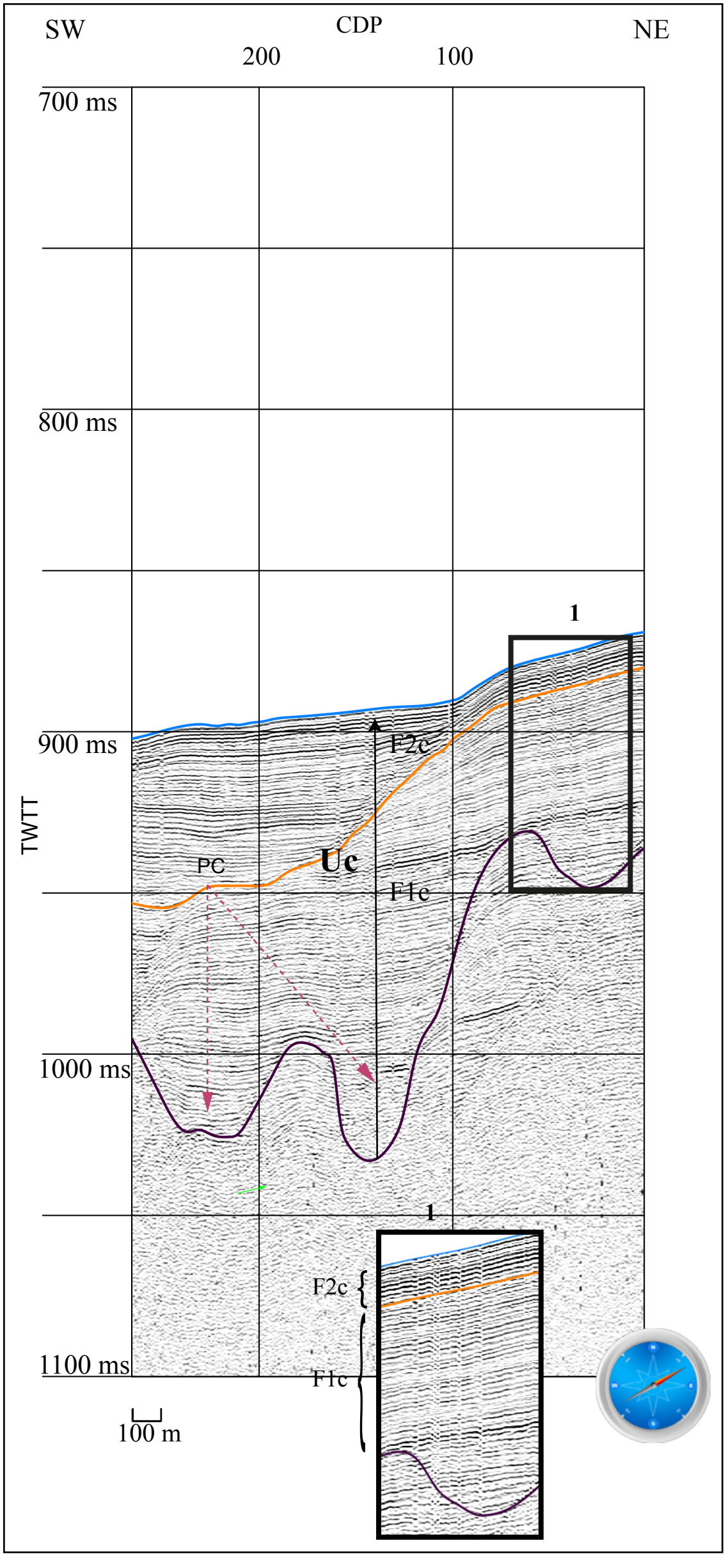
C Canales Tributarios

MAPA DE UBICACIÓN

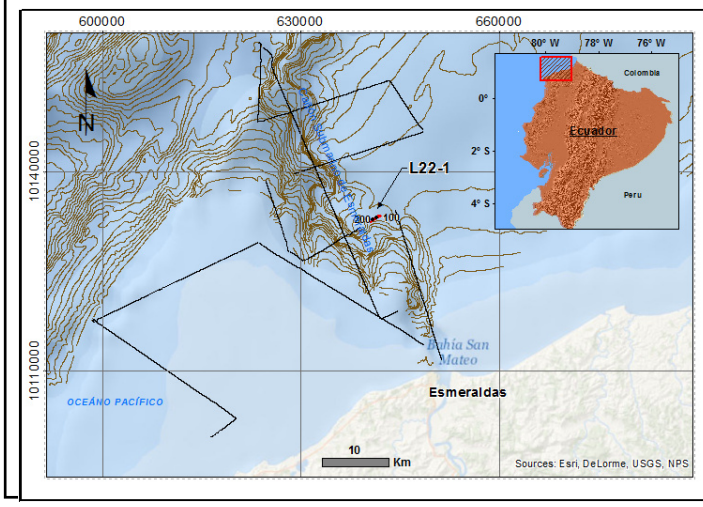


ANEXO D: Perfil Sísmico L16

ANEXO E: Perfil Sísmico L22-1



MAPA DE UBICACIÓN



Fondo Marino

Fallas

Múltiple deFM

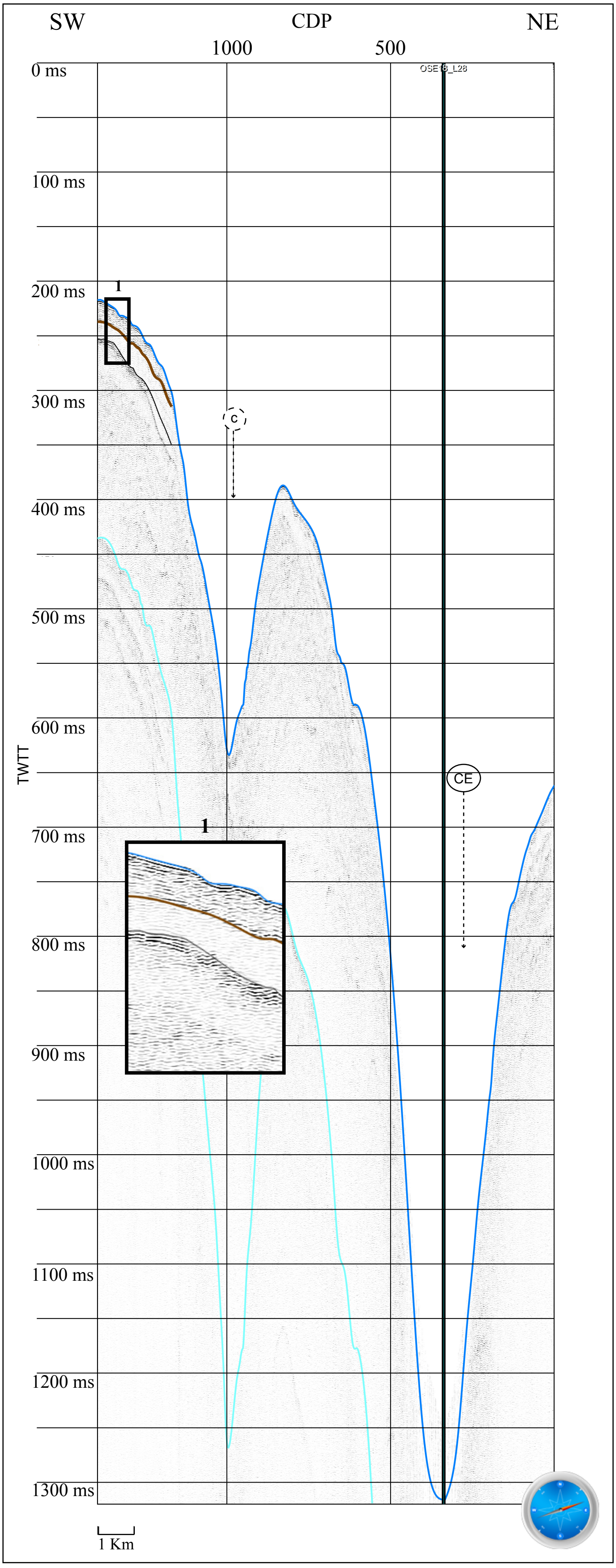
PC Paleocanales

Base F1c

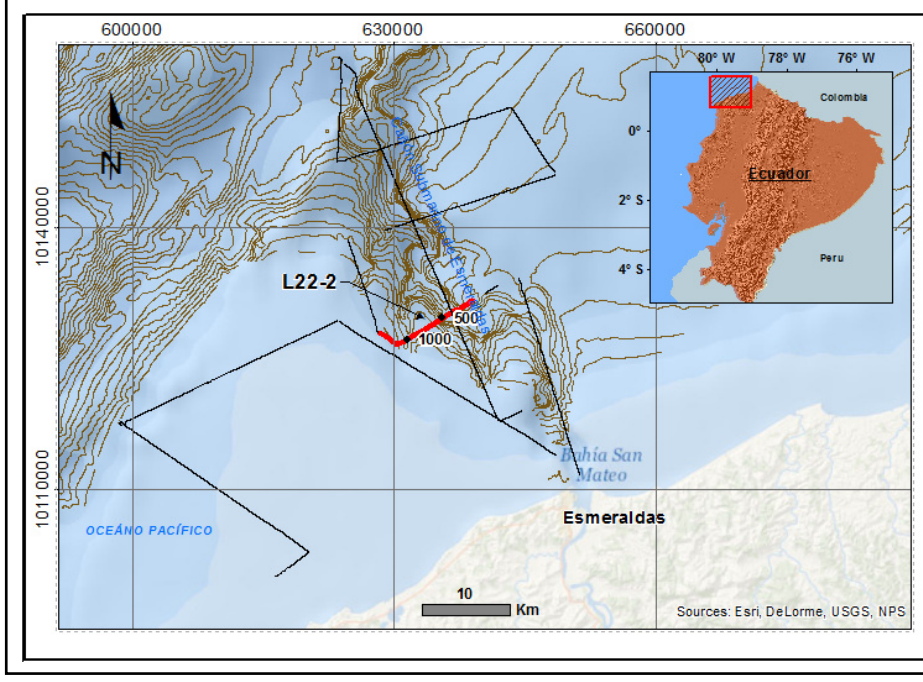
Base F2c

Perfil: L22-1_1.73Km,
Esc Hz: 25 tr/cm-Esc Vt: 15 ms/cm

ANEXO F: Perfil Sísmico L22-2



MAPA DE UBICACIÓN



Fondo Marino (FM)

Múltiple de FM

Plataforma Antigua

Fallas

CE — Cañón de Esmeraldas

C — Canales Tributarios

PERFIL: L22-2_12.58Km,

Esc Hz: 100 tr/cm-Esc Vt: 30 ms/cm

SSE

CDP

NNW

500

1000

0 ms

100 ms

200 ms

300 ms

400 ms

500 ms

600 ms

TWTT

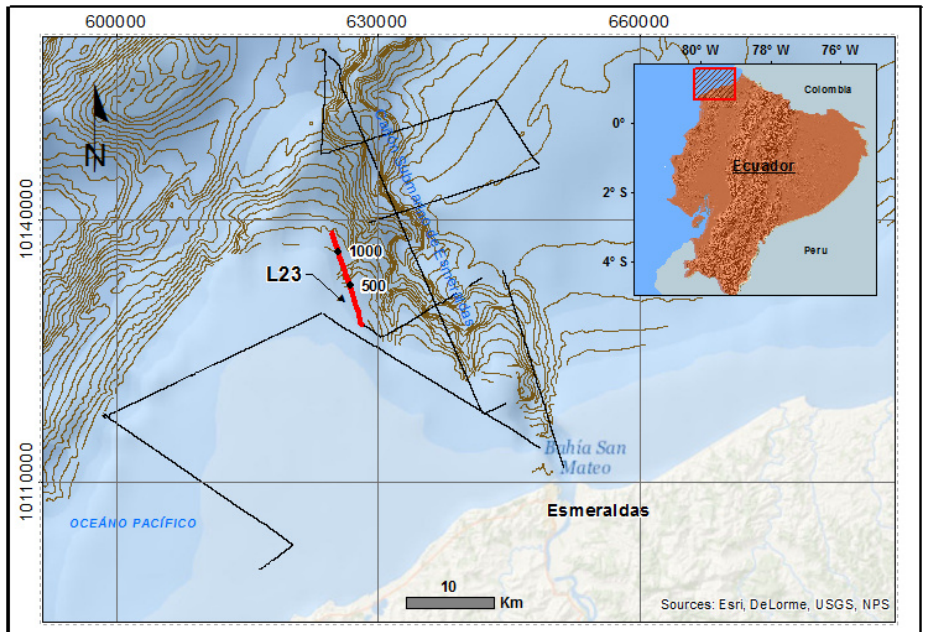
1

C

1

1 Km

MAPA DE UBICACIÓN



Fondo Marino (FM)

Fallas

Múltiple de FM

C Canales Tributarios

Plataforma Antigua

PERFIL: L23_11.23Km,
Esc Hz: 100 tr/cm-Esc Vt: 30 ms/cm

ANEXO G: Perfil Sísmico L23

ANEXO H: Perfil Sísmico L24-2

WSW

ENE

CDP

1000

2000

3000

700 ms

800 ms

900 ms

1000 ms

1100 ms

1200 ms

1300 ms

1400 ms

1500 ms

1600 ms

1700 ms

1800 ms

TWTT

OSE18_L28

1

F5d

F4d

F3d

F2d

F1d

CE

1

F5d

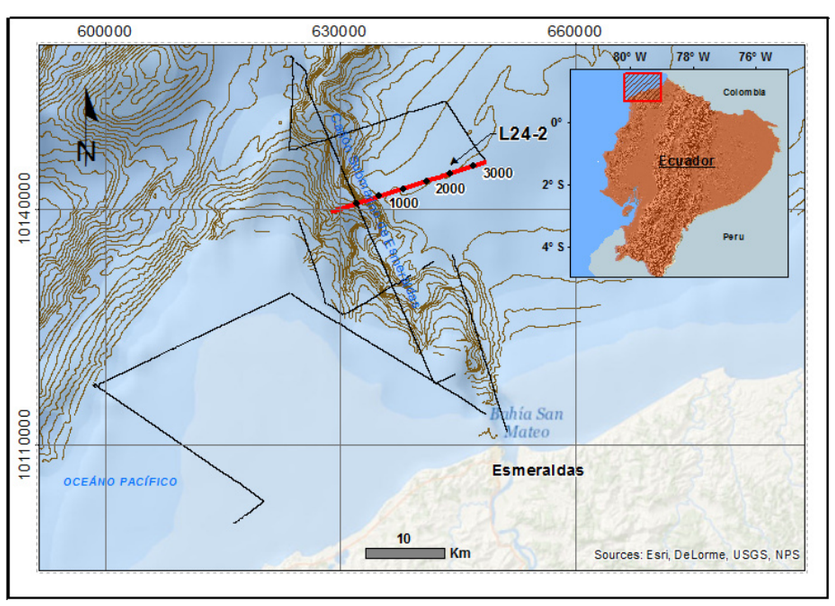
F4d

F3d

F2d

F1d

MAPA DE UBICACIÓN



PERFIL: L24-2_20.51Km, Esc Hz: 100 tr/cm-Esc Vt: 30 ms/cm

10 Km

Fondo Marino (FM)

Múltiple de FM

Base F2d

Base F3d

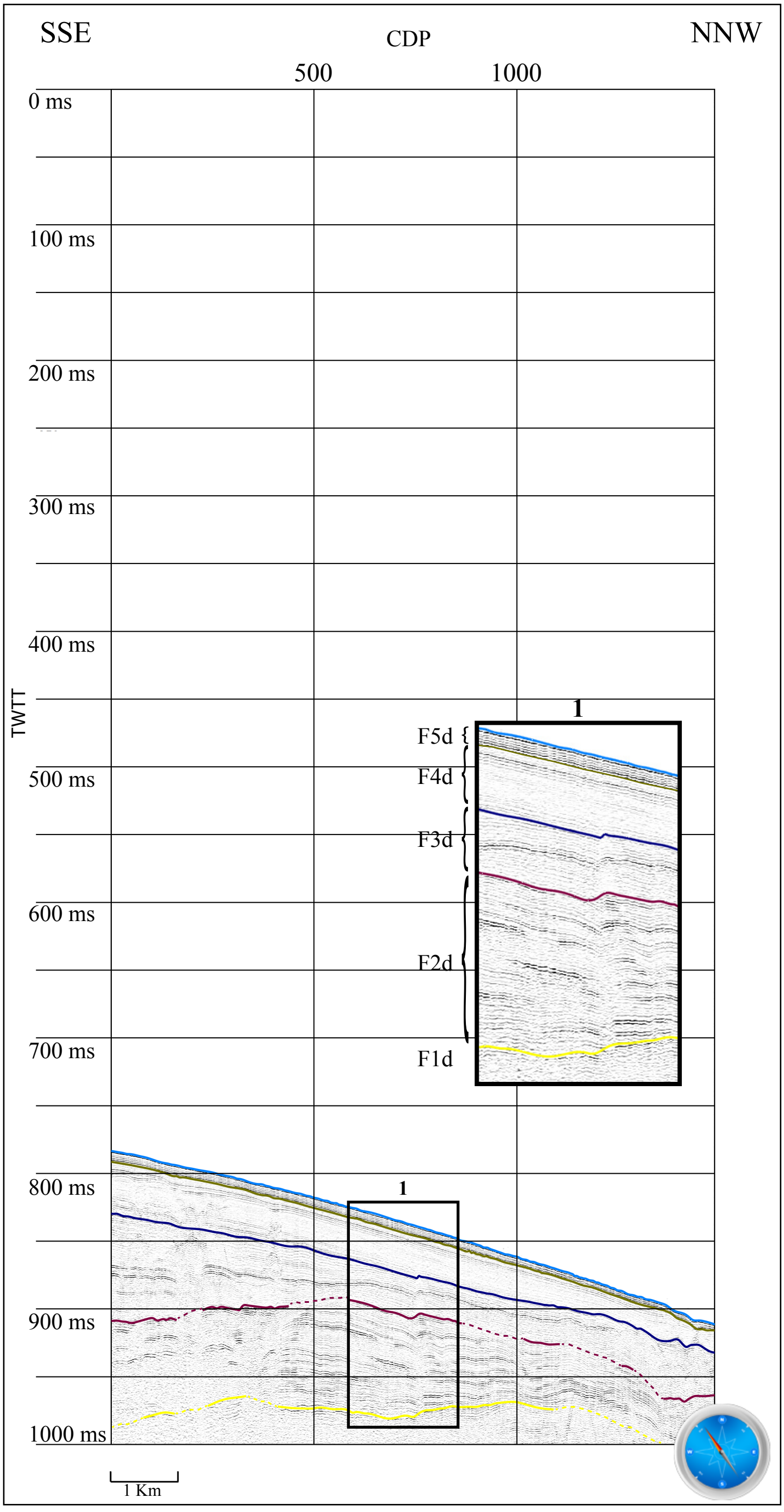
Base F4d

Base F5d

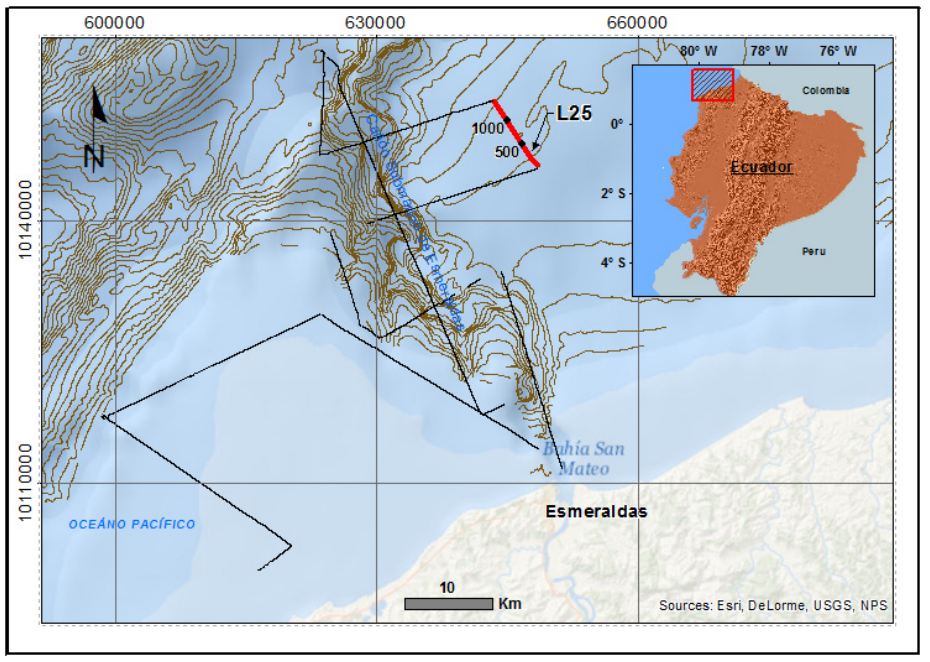
Fallas

CE — Cañón de Esmeraldas

ANEXO I: Perfil Sísmico L25



MAPA DE UBICACIÓN



Fondo Marino (FM)

Múltiple de FM

Base F2d

Base F3d

Fallas

Base F4d

Base F5d

CE — Cañón de Esmeraldas

PERFIL: L25_8.98Km

Esc Hz: 100 tr/cm-Esc Vt: 30 ms/cm

ANEXO J: Perfil Sísmico L26

WSW

CDP

ENE

3000

2000

1000

700 ms

800 ms

900 ms

1000 ms

1100 ms

1200 ms

1300 ms

1400 ms

1500 ms

1600 ms

1700 ms

1800 ms

1900 ms

2000 ms

2100 ms

2200 ms

TWTT

OSET8_L27

OSET8_L28

F5d

F5d

F4d

F3d

Campo de
Ondas Sedimentarias

1

Zona de Deslizamiento
(Slumps)

CE

F5d

F4d

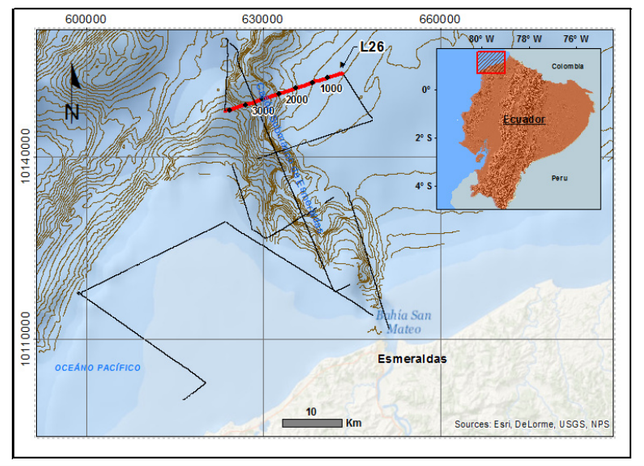
F3d

F2d

F1d

1 Km

MAPA DE UBICACIÓN



PERFIL: L26_21.23Km, Esc Hz: 100 tr/cm-Esc Vt: 30 ms/cm

Fondo Marino (FM)

Base F1d

Base F3d

Base F5d

CE Cañón de Esmeraldas

Múltiple de FM

Base F2d

Base F4d

Fallas

S

CDP

N

1000

2000

1000 ms

1100 ms

1200 ms

1300 ms

1400 ms

1500 ms

1600 ms

1700 ms

1800 ms

1900 ms

2000 ms

TWTT

3_L26

1

Canal Tributario

PC

2

F5d

F4d

F3d

F2d

F6e

F4e

F5e

F3e

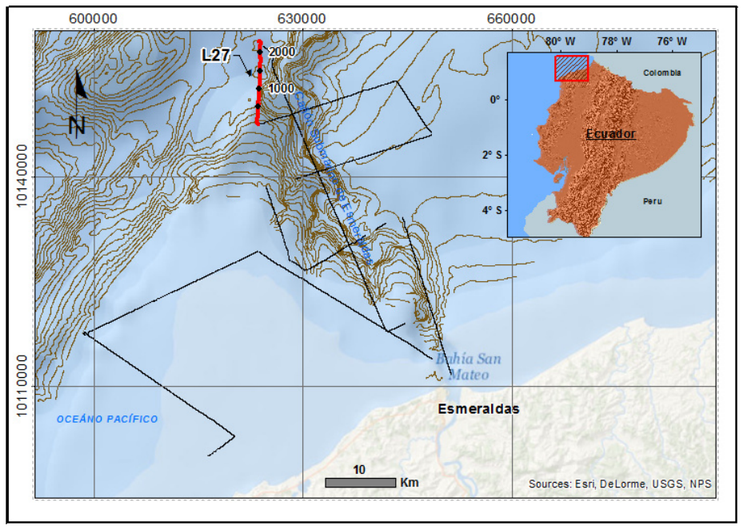
F2e

F1e

Ue

1 Km

MAPA DE UBICACIÓN



Fondo Marino (FM)

Múltiple de FM

Base F2d

Base F3d

Base F4d

Base F5d

Cañón de Esmeraldas (CE)

Base F2e

Base F3e

Base F4e

Base F5e

Base F6e

Fallas

Onlap

PERFIL: L27_12.3Km

Esc Hz: 100 tr/cm-Esc Vt: 30 ms/cm

ANEXO K: Perfil Sísmico L27

NNW

CDP

SSE

1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000

0 ms
100 ms
200 ms
300 ms
400 ms
500 ms
600 ms
700 ms
800 ms
900 ms
1000 ms
1100 ms
1200 ms
1300 ms
1400 ms
1500 ms
1600 ms
1700 ms
1800 ms
1900 ms
2000 ms
2100 ms
2200 ms
2300 ms

TWTT

CE

1

2

3

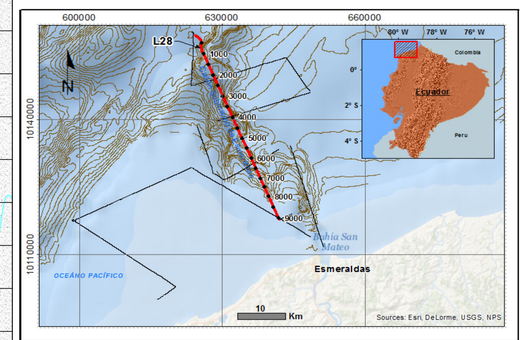
F6e
F5e

F4f
F3f
F2f
F1f

F4g
F3g
F2g
F1g

10 Km

MAPA DE UBICACIÓN

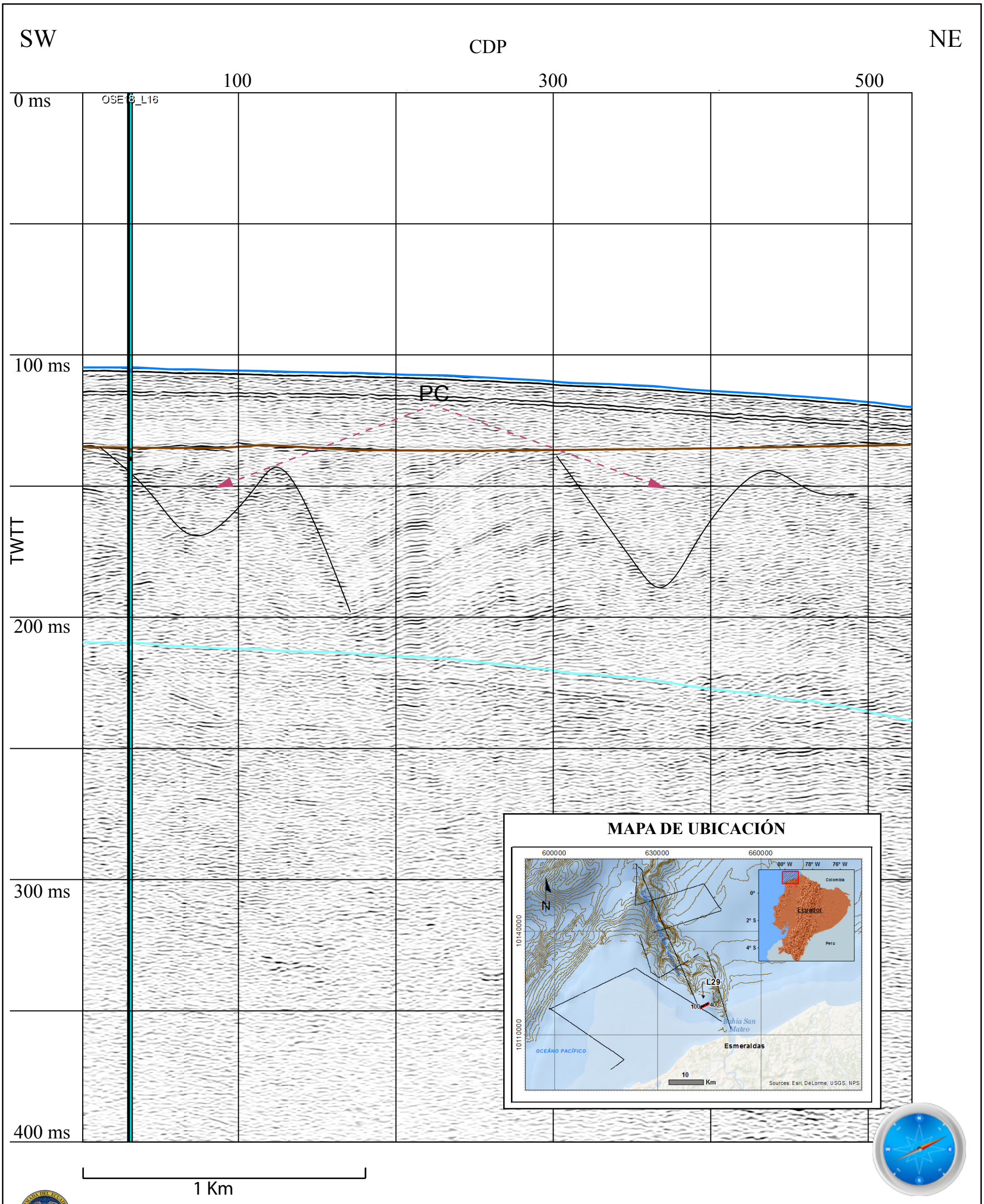


- Fondo Marino (FM)
- Múltiple de FM
- Base F6e
- Base F5e
- Base F4f
- Base F3f
- Base F2f
- Base F1f
- Base F1e
- Base F2e
- Base F1g
- Base F2g
- Base F3g
- Base F4g
- CE Cañón de Esmeraldas

PERFIL: L28_45.2 Km, Esc Hz: 100 tr/cm-Esc Vt: 30 ms/cm

ANEXO L: Perfil Sísmico L28

ANEXO M: Perfil Sísmico L29



PERFIL: L29_2.94 Km, Esc Hz: 25 tr/cm-Esc Vt: 15 ms/cm

Fondo Marino (FM) — Múltiple de FM — Plataforma Antigua — PC Paleocanales