

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Evaluación de los stocks sedimentarios disponibles para el tránsito  
costero de las ensenadas de Santa Elena y Valdivia

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniera en Geología**

Presentado por:

Nathaly Lizbeth Espinoza Santos

Kelly Jazmín Jácome Francis

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## DEDICATORIA

A Dios, por otorgarnos la vida, ser nuestro camino y luz, brindarnos la fuerza, el valor, ser la fuente de inspiración, y permitirnos culminar esta etapa de nuestras vidas.

A nuestras familias, por su amor y apoyo incondicional:

A Esilda y Trifón, por ser mis pilares, padres de corazón, fuente de sabiduría, mi guía y por regalarme su amor.

A Elisa, mi amada madre, por darme la dicha de vivir, por su amor incondicional y por acercarme más a Dios.

A Germania, Diana, Tania y Mercedes, por brindarme su apoyo y ser parte importante en mi vida.

A Luz María, José David y Nelly, por inculcarme la palabra y la vida de una buena hija de Dios.

A mi querida madre, Emma, que me ha dado todo, su apoyo constante, amor incondicional, por creer en mí siempre y darme esa fortaleza para seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mi amada tía, Martha, mi segunda mamá, por su inmenso amor y bondad, por sus sabios consejos y cuidar de mí siempre.

A mi padre, Vinicio y mis hermanos Vanessa, Fabian y Catherine, por brindarme su apoyo incondicional y estar siempre conmigo cuando más los he necesitado.

Y de manera muy especial a mi hija, Nathalia, por su amor, su cariño, por ser mi mayor motivación para alcanzar mis tan anheladas metas y me inspira a ser mejor persona cada día.

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros profesores, por compartir sus conocimientos y sembrar el amor en nosotras hacia esta carrera.

A la MSc. Mishelle Muthre por su paciencia, dedicación y guía infaltable durante todo el desarrollo de este proyecto.

A los Dres. Carlos Martillo y Miguel González por compartir con generosidad sus conocimientos.

Al lugar que nos formó profesionalmente, la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

A la tierra que nos vio nacer, nuestro maravilloso país Ecuador.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Nathaly Lizbeth Espinoza Santos y Kelly Jazmín Jácome Francis* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Nathaly Lizbeth  
Espinoza Santos

Kelly Jazmín  
Jácome Francis

# EVALUADORES

---

**David Altamirano**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Mishelle Muthre**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El aporte sedimentario proveniente de los ríos es necesario para la conservación de las playas, pues, el oleaje y las mareas contribuyen en la distribución del sedimento en las costas. Cuando este equilibrio se altera debido a factores naturales o antrópicos, suceden procesos de erosión y acreción. Sin embargo, estos procesos se han acelerado al disminuirse el tránsito costero. Comprender los mecanismos de evolución de los sistemas costeros es fundamental para predecir cambios futuros. Por ende, el objetivo del proyecto es evaluar los stocks sedimentarios disponibles para el tránsito costero en las ensenadas de Santa Elena y Valdivia. Para ello, se interpretaron 193 km de trayectoria de datos de reflexión sísmica Sparker mediante los principios de estratigrafía sísmica y secuencial de la campaña ECUASPARK 2020 en la plataforma continental. Luego, se cuantificó el volumen de cada unidad sísmica y su tasa de sedimentación. Además, la red de paleocanales en la plataforma representa un sistema fluvial con relleno de agregados pétreos, por tanto, se evaluó el volumen potencial que podría proporcionar el cañón de Santa Elena. Como resultado, se identificaron 4 secuencias de depósito, donde la Unidad III podría corresponder a la última máxima regresión de hace ~19.500 años. El recurso pétreo fue 3,9 km<sup>3</sup> y tasas de sedimentación de 1,4 – 1,7 mm/año por unidad. Finalmente, se observó una disminución en las tasas de sedimentación y se evidenció que no existe una desconexión de los paleocanales de la costa, sino que se encuentran rellenos al menos 90%, por una razón eustática.

**Palabras Clave:** Tránsito Costero, Erosión Costera, Plataforma Continental, Estratigrafía Sísmica y Secuencial.

## **ABSTRACT**

*The sedimentary contribution from the rivers is necessary for the conservation of the beaches since the waves and the tides contribute to the distribution of the sediment on the coasts. When this balance is disturbed due to natural or anthropic factors, erosion and accretion processes occur. However, these processes have accelerated as coastal traffic has decreased. Understanding the mechanisms of evolution of coastal systems is essential to predict future changes. Therefore, the objective of the project is to evaluate the sedimentary stocks available for coastal transit in the Santa Elena and Valdivia inlets. To this end, 193 km of Sparker seismic reflection data trajectory were interpreted using the principles of seismic and sequential stratigraphy of the ECUASPARK 2020 campaign in the continental shelf. Then, the volume of each seismic unit and its sedimentation rate were quantified. In addition, the network of paleochannels on the platform represents a fluvial system filled with stone aggregates, therefore, the potential volume that the Santa Elena canyon could provide was evaluated. As a result, 4 deposit sequences were identified, where Unit III could correspond to the last maximum regression of ~ 19.500 years ago. The stone resource was 3,9 km<sup>3</sup> and sedimentation rates of 1,4– 1,7 mm / year per unit. Finally, a decrease in sedimentation rates was observed and it was evidenced that there is no disconnection of the paleochannels from the coast, but that they are filled at least 90%, for a eustatic reason.*

*Key Words: Coastal Traffic, Coastal Erosion, Continental Shelf, Seismic and Sequential Stratigraphy.*

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
DECLARACIÓN EXPRESA.....	IV
EVALUADORES.....	V
RESUMEN .....	VI
<i>ABSTRACT</i> .....	VII
ÍNDICE GENERAL .....	VIII
ABREVIATURAS.....	XI
SIMBOLOGÍA.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	1
1.2    Justificación del problema .....	2
1.3    Objetivos .....	3
1.3.1    Objetivo General .....	3
1.3.2    Objetivos Específicos.....	4
1.4    Marco teórico.....	4
1.4.1    Área de estudio.....	4
1.4.2    Clima.....	5
1.4.3    Marco geológico regional .....	5
1.4.4    Materiales Pétreos .....	9
CAPÍTULO 2 .....	11

2.	Marco conceptual .....	11
2.1	Estratigrafía Secuencial.....	11
2.2	Espacio de Acomodación .....	11
2.2.1	La transgresión (T).....	12
2.2.2	La regresión (R) .....	12
2.2.3	La secuencia estratigráfica.....	14
2.2.4	Terminaciones estratales y configuración geométrica .....	15
2.2.5	Superficies estratigráficas .....	18
2.2.6	Cortejos sedimentarios .....	19
2.2.7	Modelo de secuencia transgresivo-regresivo (T-R) .....	21
CAPÍTULO 3 .....		22
3.	Metodología.....	22
3.1	Datos Sísmicos.....	23
3.2	Interpretación Sísmica .....	24
3.3	Cálculo de espesores .....	25
3.4	Cálculo de volumen .....	26
3.5	Correlación con la curva eustática .....	27
3.6	Estimación de la tasa de sedimentación .....	28
CAPÍTULO 4 .....		29
4.	Resultados Y ANÁLISIS .....	29
4.1	Interpretación Sísmica .....	29
4.1.1	Facies Sísmicas .....	29
4.1.1	Límites y Unidades.....	33
4.1.2	Correlación de Unidades sísmicas .....	40
4.2	Espesores de las Unidades .....	45

4.3	Tasas de sedimentación.....	48
4.4	Volumen de recursos pétreo.....	48
CAPÍTULO 5 .....		50
5.	DISCUSIÓN.....	50
5.1	Unidades .....	50
5.2	Tránsito costero.....	50
5.3	Espesores de las unidades.....	51
5.4	Estimación de edades .....	51
5.5	Tasas de sedimentación.....	53
CAPÍTULO 6 .....		55
6.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	55
	Conclusiones.....	55
	Recomendaciones.....	56
BIBLIOGRAFÍA .....		57
APÉNDICES.....		i

## ABREVIATURAS

BSFR	Superficie Basal de Regresión Forzada
CC	Concordancia Correlativa
CDP	Control Deep Point
Cepal	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
D	Depocentro
DS	Secuencia de depósito
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
Fm.	Formación
FR	Regresión Forzada
FSST	Cortejo de caída del nivel de base
GEMAC	Geociencias Marinas y Costeras
HST	Cortejo de alto nivel
IRD	Instituto de Investigación para el Desarrollo
LST	Cortejo de bajo nivel
Máx.	Máximo
MFS	Superficie de Máxima Inundación
MIS	Estadios Isotópicos Marinos
MRS	Superficie de Máxima Regresión
NR	Regresión Normal
R	Regresión
RST	Cortejo Regresivo
Sf	Facie sísmica
SIGs	Sistemas de Información Geográfica
SU	Superficie Subaérea
T	Transgresión
TST	Cortejo Transgresivo
TWT	Two Way Travel Time
U	Unidad
UNEP	Programa Ambiental de las Naciones Unidas

## SIMBOLOGÍA

°	Grado
C	Celsius
E	Este
ka	Miles de años
km	Kilómetro
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
km <sup>3</sup>	Kilómetro cúbico
m	Metro
m/s	Metros sobre segundos
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mm	Milímetro
mm/año	Milímetros por año
N	Norte
NE	Noreste
NO	Noroeste
O	Oeste
s	Segundos
S	Sur
SE	Sureste
SO	Suroeste

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación de la zona de estudio entre las ensenadas de Valdivia y Santa Elena. ....	4
Figura 1.2 Contexto geodinámico y tectónico del Ecuador. Tomado de (Gutscher et al., 1999). ....	6
Figura 1.3 Mapa Geológico de la Provincia de Santa Elena. Modificado de (Egüez et al., 2017). ....	9
Figura 2.1 Espacio de acomodación y los principales controles sedimentarios alogénicos. Tomado de (Miall, 2010). ....	12
Figura 2.2 Configuraciones de arquitecturas estratigráficas. Retrogradación, agradación, progradación, y regresión forzada. Dependerán del espacio de acomodación (A) y el aporte sedimentario (S) (Homewood et al., 2000). ....	13
Figura 2.3 A) Regresión normal; B) Regresión forzada; C) Retrogradación (Modificado de O. Catuneanu et al., 2009).....	14
Figura 2.4 A) Configuración geométrica de los reflectores sísmicos; B) Configuraciones típicas de las clinoformas (Mitchum, 1977). ....	17
Figura 2.5 Perfil sísmico con diferentes tipos de depósitos. (FR) Regresión Forzada, (LNR) Regresión Normal, (T) Transgresión; y sus superficies estratigráficas (SU) Superficie Subaérea, (CC**) Concordancia correlativa, (CC* o BSFR) Superficie Basal de Regresión Forzada, (MRS) Superficie de máxima regresión, (MFS) Superficie de máxima inundación) (O. Catuneanu et al., 2009).....	19
Figura 3.1 Esquema sintetizado de la metodología propuesta para evaluación de los stocks sedimentarios disponibles para el tránsito costero.....	22
Figura 3.2 Perfiles Sísmicos. Trayectorias de los datos de sísmica recolectados en la plataforma continental. ....	23
Figura 3.3 Esquema de cálculo de profundidades. Abreviaciones: ts - TWT hasta la base de unidad; tf -TWT hasta el fondo oceánico, tb - TWT desde el fondo oceánico hasta la base de unidad, TWT – Two Way Travel Time y CDP – Control Deep Point. ....	25

Figura 3.4 Esquema de los puntos considerados en los paleocanales para obtener su geometría. Abreviaciones: TWT – Two Way Travel Time y CDP – Control Deep Point. .....	26
Figura 3.5 Curva glacio-eústática. Modificado de (Siddall et al., 2003). .....	27
Figura 3.6 Nomenclatura de los cortejos sedimentarios y tiempo de los límites de secuencia para los diversos enfoques estratigráficos de secuencia. Modificado de (Octavian Catuneanu, 2006). .....	28
Figura 4.1 Perfil sísmico SE-18 donde se muestran las terminaciones estratales. ...	30
Figura 4.2 Descripción de las facies sísmicas en SE-18. R: Regresiva y T: Transgresiva.....	31
Figura 4.3 (A) Transición desde ambientes marinos a no marinos (Modificado de Octavian Catuneanu, 2006) y (B) Perfil con los principales escenarios geomórficos y depositarios de una plataforma continental: llanura aluvial, llanura costera, litoral y marino somero (Modificado de H. W. Posamentier et al., 1992). .....	32
Figura 4.4 Esquema de regresión forzada. Presencia de paleocanales en la plataforma continental (Modificado de Octavian Catuneanu, 2006). .....	34
Figura 4.5 Bases de las Unidades con sus profundidades donde las zonas grises representan zonas de inseguridad por ausencia de datos. ....	35
Figura 4.6 Perfil sísmico SE-06b donde se evidencian las progradaciones hacia el noreste de las Unidades I y II. ....	36
Figura 4.7 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-18, parte A. ....	37
Figura 4.8 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-18, parte B. ....	38
Figura 4.9 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-18, parte C. ....	39
Figura 4.10 Correlación de las superficies estratigráficas con los MIS (Modificado de (Siddall et al., 2003)) .....	41
Figura 4.11 Correlaciones de las unidades de las líneas SE-2b_2 con SE-18 y SE-6b_1 con SE-18, junto con su ubicación en el mapa de datos de sísmica. ....	43

Figura 4.12 Correlaciones de las unidades de las líneas SE-18 con SE-11b y SE-20b con SE-06, junto con su ubicación en el mapa de datos de sísmica. ....	44
Figura 4.13 Mapas de isópacos de las Unidades I y II. ....	46
Figura 4.14 Mapas de isópacos de las Unidades III y IV. ....	47
Figura 4.15 Ubicación del área de recursos pétreos potenciales. ....	49
Figura 5.1 Esquema que muestra la migración del depocentro en la plataforma y acumulación de depósitos a través de cuatro cortes en los perfiles sísmicos .....	52
Figura 5.2 Análisis de la posible disminución de las tasas de sedimentación en la plataforma donde la mayor distribución de los sedimentos se desviaría hacia el N y S de la costa ecuatoriana por la presencia de la cordillera costera. Modificado de (Collot et al., 2009). ....	54
Figura 6.1 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-02B_2. ....	ii
Figura 6.2 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-11b_1. ....	iii
Figura 6.3 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-19. ....	iv
Figura 6.4 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-02_1. ....	v
Figura 6.5 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-06. ....	vi
Figura 6.6 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-20B. ....	vii

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características de las terminaciones estratales en reflectores sísmicos (Octavian Catuneanu, 2002; Illidge et al., 2016; Mitchum, 1977; Snedden & Sarg, 2008). .....	15
Tabla 2.2 Características de los cortejos sedimentarios. Modificado de (Octavian Catuneanu, 2006; Homewood et al., 2000; Marocco, 2009). .....	20
Tabla 3.1 Caracterización de terminaciones estratales en líneas sísmicas.....	24
Tabla 4.1 Edades estimadas de las unidades de acuerdo con los MIS.....	42
Tabla 4.2 Tasa de sedimentación en la plataforma .....	48
Tabla 4.3 Volumen estimado del recurso pétreo.....	48

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Las costas ecuatorianas están sometidas constantemente a procesos de acreción y erosión, lo que juega un papel importante en el transporte de sedimentos, principalmente arena (Soledispa, 2009). En toda la zona litoral los sedimentos que llegan son retrabajados y transportados constantemente por los agentes costeros. En la industria de la construcción este es el recurso más aprovechado y representa el mayor volumen de extracción de materiales sólidos a nivel mundial (Beiser, 2018; Lino García & Bermudez, 2018). Tanto así, se estima 50.000 millones de toneladas de arena y grava se utilizan cada año (Beiser, 2018). El aprovechamiento de este recurso en las barras de arena fluviales, la construcción de diques y presas, y otras actividades antrópicas, disminuyen el tránsito costero y, por lo tanto, el suministro de arena en la plataforma.

Por consiguiente, zonas como los acantilados de la Puntilla de Santa Elena, están sometidos a un permanente socavamiento en su base, a su vez, las plataformas de erosión del sector Punta Blanca-Capaes constituyen evidencia del avance del mar (Soledispa, 2009). El aumento de zonas expuestas a fuerte erosión conlleva a la destrucción de obras civiles y comunidades costeras, los efectos de estos procesos se evidencian en la formación de cuevas, bloques rocosos caídos de las partes altas, retroceso de acantilados, entre otros.

### 1.1 Descripción del problema

Las ensenadas de Santa Elena y Valdivia exhiben extensas costas arenáceas. Además de importantes fluctuaciones naturales del nivel del mar y el levantamiento costero, sus costas están fuertemente antropizadas. Según el informe Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe de la Cepal, en playas del Ecuador como Salinas, se pierde aproximadamente 20 cm de playas cada año (Plaza, 2010b). Esto se atribuye al incremento del nivel mar por los deshielos de los glaciares, al aumento de temperatura en los

océanos y el cambio de dirección del oleaje provocado por el cambio de clima, ya que al golpear la olas en forma perpendicular a la costa la erosión es más intensa (Plaza, 2010b). Además, otro de los factores que contribuye la erosión costera es la disminución del flujo sedimentario. Cuando el suministro de arena es menor que la cantidad que se moviliza por el oleaje, las costas tienden a erosionarse, lo cual contribuye a la desaparición de estas (Soledispa, 2009).

Por medio del presente trabajo, se evaluará el volumen de sedimento disponible para el tránsito costero a través de los sistemas de paleocanales, los cuales se han reportado como desconectados de la costa producto de la disminución del tránsito costero. Se interpretarán 193 km de datos de sísmica de reflexión Sparker, para comprender los procesos sedimentarios en la plataforma continental mediante la obtención de tasas de sedimentación, asignación de edades de depósito y correlación con la curva eustática.

## **1.2 Justificación del problema**

La disminución del flujo natural sedimentario en las costas acelera los procesos de erosión, lo cual induce a la desaparición de las costas (playas); atentando contra los ecosistemas y comunidades en las zonas costeras. Las playas son uno de los ecosistemas con mayor potencial turístico y económico para las sociedades (Lino García & Bermudez, 2018), por tanto, las consecuencias podrían provocar impactos sociales, ambientales, económicos y políticos.

De acuerdo con expertos de la Cepal (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), la reducción de las playas podría provocar pérdidas económicas de alrededor de 20000 dólares por m<sup>2</sup> cada año, para cada ciudad turística (Plaza, 2010a).

El desarrollo de la humanidad requiere de la búsqueda de nuevas fuentes que abastezcan de los recursos que se necesitan, los depósitos de arena y grava

son un recurso natural que proporciona materias primas esenciales para la industria de la construcción siendo este el recurso más aprovechado. La extracción minera de arena de playas también influye a la disminución del flujo sedimentario, ya que además de afectar a la composición del suelo, contribuye con la erosión de la playa y pone en riesgo a la infraestructura como casas, edificios y carreteras que se encuentren cerca de la playa (Yáñez & Hernández, 2018). Asimismo, la remoción de la arena de playa afecta a la flora y fauna de la zona (Krause et al., 2010), ya que provoca la destrucción del hábitat de las especies de la zona, como es el caso de cangrejos, aves playeras y las tortugas marinas, ya que disminuyen su espacio para alimentarse. De igual forma el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) en 2014, menciona que la pesca tradicional también es perjudicada por la remoción de arena en las playas.

Por eso, la comprensión del mecanismo de evolución de los sistemas costeros del pasado es fundamental para predecir el cambio costero futuro. Que redundará a favor de la conservación de las playas y ciudades y comunidades costeras inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Por otro lado, los fondos marinos poseen una gran cantidad de recursos que pueden ser utilizados para mantener la producción en la industria. Y en el Ecuador no se han realizado exploraciones de recursos pétreos por las limitaciones técnicas y económicas, por lo tanto, no se ha podido realizar una cuantificación económica de los recursos presentes.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar los stocks sedimentarios en las ensenadas de Santa Elena y Valdivia, mediante la aplicación de los principios de la estratigrafía sísmica y secuencial, resolviendo el carácter, distribución y geometría de las secuencias sísmicas de la plataforma continental interior de la costa sur del Ecuador.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

1. Interpretar 193 km de perfiles de reflexión sísmica Sparker en la plataforma continental mediante la identificación de terminaciones y configuraciones de reflectores, facies sísmicas y litologías y la delimitación de cortejos sedimentarios, secuencias de depósito y unidades estratigráficas.
2. Cuantificar el volumen disponible de sedimentos entre la base y el tope de cada unidad y el volumen potencial para uso de agregados pétreos.
3. Correlacionar las secuencias de depósito con eventos de transgresión-regresión registrados por los cambios del nivel base en la curva glacio-eustática.
4. Cuantificar la tasa de sedimentación en la plataforma continental en las ensenadas de Santa Elena y Valdivia.

### 1.4 Marco teórico

#### 1.4.1 Área de estudio

El área de estudio se ubica en la costa del océano Pacífico ecuatoriano, desde Montañita al norte hasta la puntilla de Santa Elena al sur en la provincia con el mismo nombre (Figura 1.1).



Figura 1.1 Ubicación de la zona de estudio entre las ensenadas de Valdivia y Santa Elena.

## **1.4.2 Clima**

La red hidrográfica es muy importante en los procesos de sedimentación por el aporte de sedimentos (Del Río et al., 2015), por ende, una alteración tendrá un impacto en la dinámica costera. La red hidrográfica de la ensenada de Santa Elena y Valdivia está constituida por las cuencas Zapotal y Jipijapa (INAMHI, 2012), en ellas se encuentran algunos afluentes tales como: Olón, Manglaralto, Cadeate, Valdivia, y Grande (San Pablo).

En la región Costa se presenta un clima seco (bajas temperaturas y escasa precipitaciones) a húmedo (altas temperaturas y abundantes precipitaciones) en la parte centro-sur. Posee una temperatura promedio entre los 24-25°C, si bien en las zonas de cordillera puede ser menor a 22°C. Los vientos dominantes poseen un gran impacto en las zonas costeras ya que influyen directamente en la dirección del oleaje incidente, por tanto, en las corrientes costeras y el transporte sedimentario (Cendrero et al., 2005).

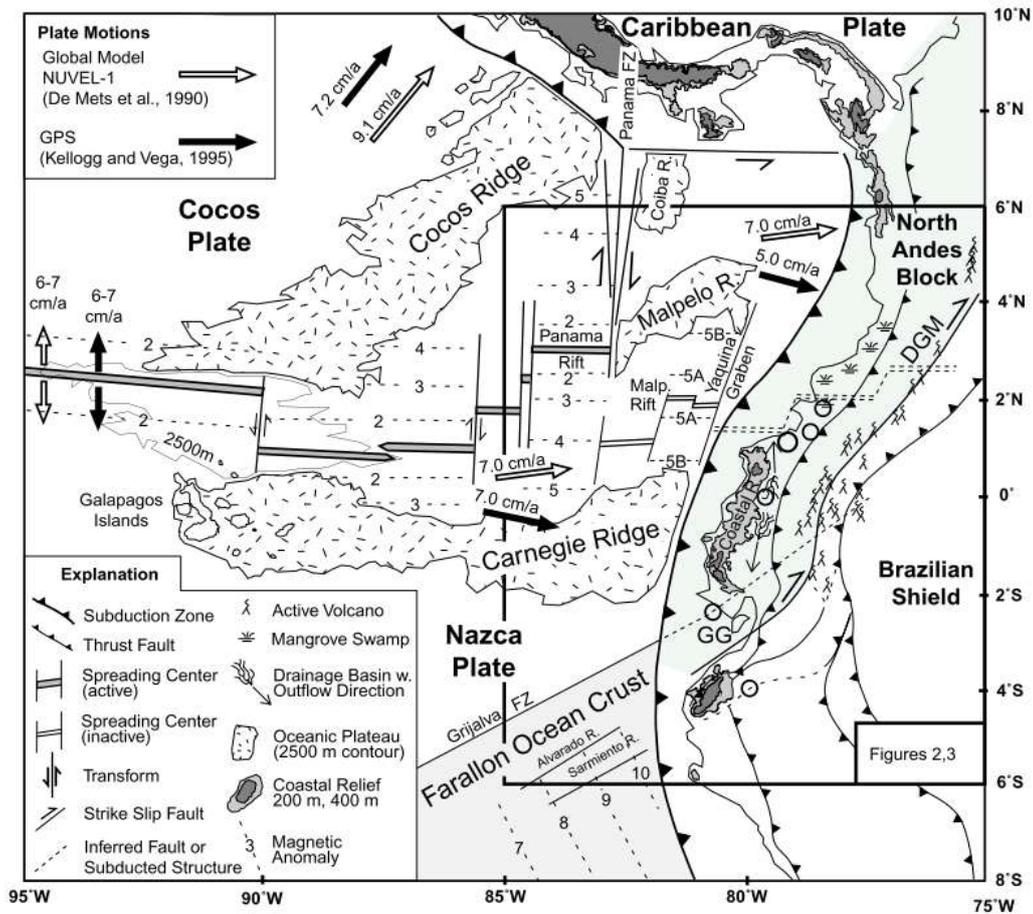
De acuerdo con la época del año, el transporte de sedimentos en la playa varia: a) En la época seca se presenta un perfil de calma, favoreciendo la acumulación de arena en la zona alta de la playa (berma); b) En la época lluviosa, un perfil de tormenta, produciéndose rompientes que crean barras y fosas (Soledispa, 2007).

## **1.4.3 Marco geológico regional**

### **1.4.3.1 Contexto geodinámico regional**

El Ecuador se encuentra bajo el dominio de un margen convergente activo de placa oceánica (Nazca) en sentido oeste-este, bajo la placa continental Sudamericana (Figura 1.2), caracterizado por tener una plataforma muy estrecha que presenta cuencas y cañones como el de Santa Elena y un talud de abrupta pendiente. En consecuencia, se tiene la cordillera de los Andes, la fosa ecuatoriana ubicada al oeste a 40 km de la línea costera y múltiples

deformaciones y fallamientos (Lonsdale, 1978; Núñez del Arco, 2003). No obstante, la placa de Nazca de edad Neógena (Hey, 1977; Lonsdale, 1978) está acompañada de la Cordillera de Carnegie que colisiona con la costa ecuatoriana entre las latitudes 1° N y 2° S. Generando el levantamiento costero reciente (DeVries, 1988) evidenciado por los Tablazos, terrenos marinos expuestos a 200 - 300 m de altitud. En efecto, se presentan variaciones geomorfológicas y tectónicas a la largo de la subducción (Collot et al., 2009; Gutscher et al., 1999; Pedoja et al., 2006).



**Figura 1.2 Contexto geodinámico y tectónico del Ecuador.**

Tomado de (Gutscher et al., 1999).

### **1.4.3.2 Contexto geológico regional**

En el margen continental, la costa ecuatoriana (donde se ubica la zona de estudio) es el resultado de terrenos acrecionados que tienen como basamento la meseta oceánica Piñón (Daly, 1989; Kerr et al., 2002), sobre ella reposan las cuencas sedimentarias Borbón, Manabí y Progreso (Daly, 1989; Jaillard et al., 2000). Respecto a la geología de la zona, tomando de referencia el Mapa Geológico del Ecuador (Egüez et al., 2017) se describen las siguientes formaciones:

#### **1.4.3.2.1 Formación Tablazo (Cuaternario)**

Son terrazas marinas bioclásticas, reconociéndose tres tablazos ubicados en las provincias de Guayas y Manabí. (Bosworth, 1923; Bristow & Hoffstetter, 1977; Duque, 2000).

#### **1.4.3.2.2 Formación Borbón (Plioceno)**

Consta de conglomerado en la base, seguido de areniscas de grano grueso con abundantes megafósiles de posibles facies marinas (Duque, 2000; Stainforth, 1948).

#### **1.4.3.2.3 Miembro Zapotal (Oligoceno o Mioceno Temprano)**

Miembro de la Fm. San Pedro, constituido por conglomerados basales, areniscas tobáceas y lutitas, de espesor mayor a los 1000 m (Bristow & Hoffstetter, 1977; Duque, 2000; Olsson, 1942).

#### **1.4.3.2.4 Formación San Mateo (Eoceno)**

Formado por areniscas finas a medias con interestratificaciones de conglomerados, potencia ~800 m y afloramientos en la Península San Mateo – Cabo San Lorenzo, Montecristi, Hoja y Bravo (Duque, 2000; Olsson, 1942).

#### **1.4.3.2.5 Formación Cayo (Cretácico: Senoniano al Maestrichtiano)**

Constituida por grauvacas, lutitas y mantos basálticos de espesor de 3000 m (Egüez et al., 2017; Feininger, 1980). Subdividida en tres miembros: Calentura, Cayo sensu stricto y Guayaquil. Se expone en la Cordillera Chongón Colonche (Baldock, 1983; Duque, 2000).

#### **1.4.3.2.6 Formación Piñón (Cretácico)**

Conformado por rocas ígneas básicas; lavas basálticas, tobas, delgadas capas de argilita (Feininger, 1980). Subyace a la Fm. Cayo, con espesor de al menos 2 km (Henderson, 1979). Aflora en diferentes partes de la costa, siendo la Cordillera Chongón Colonche la más extenso (Duque, 2000).

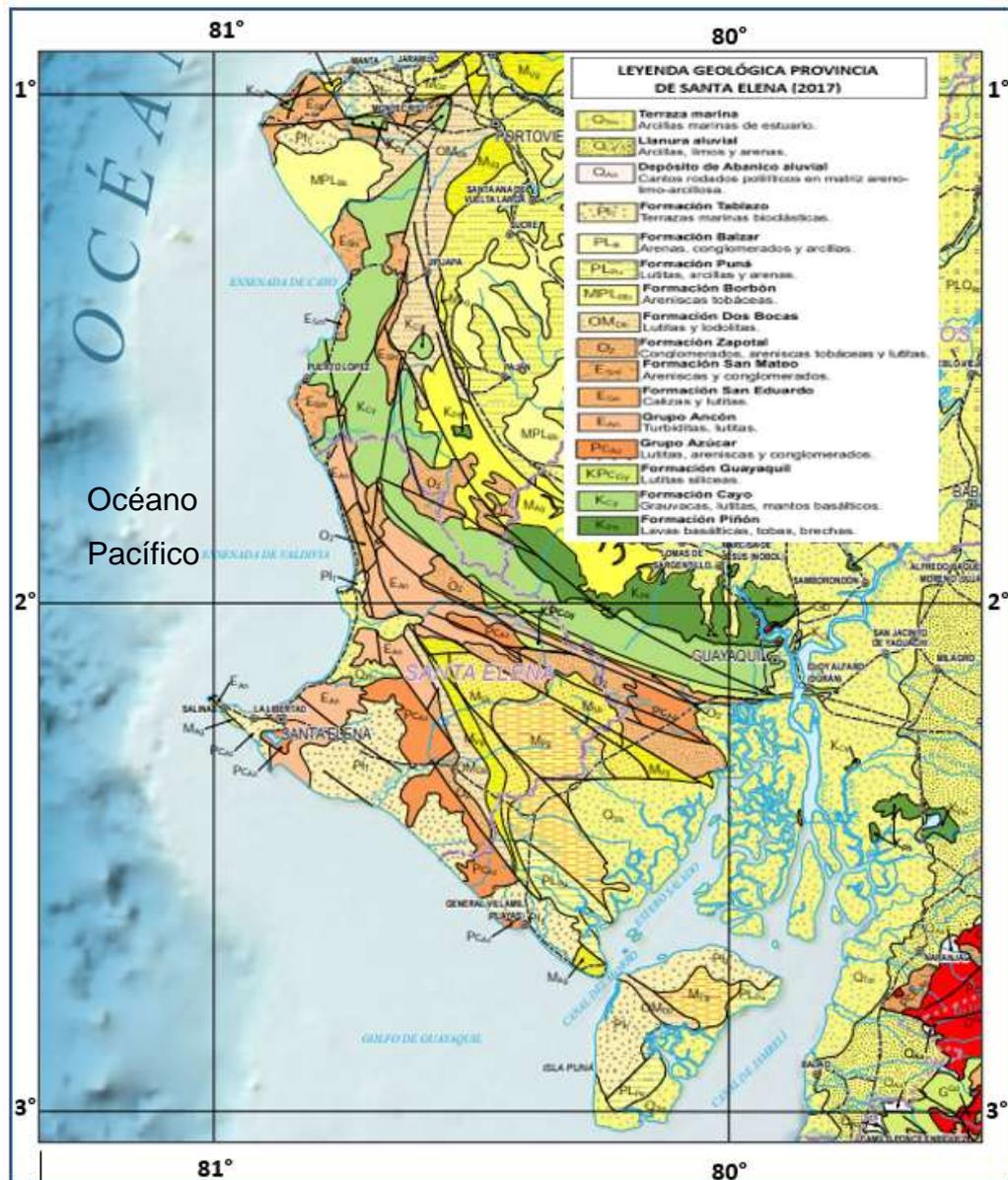


Figura 1.3 Mapa Geológico de la Provincia de Santa Elena.  
Modificado de (Egüez et al., 2017).

#### 1.4.4 Materiales Pétreos

Los materiales pétreos utilizados en la construcción son importantes en los sectores de la industria, debido a que contribuyen al crecimiento de los pueblos, ciudades, vías, puentes y demás referentes a la infraestructura (Acosta et al., 2013).

Este material al ser transportado en el lecho de los ríos es parte de un insumo fundamental en la industria del cemento. Debido a sus excelentes características físicas y químicas, las arenas y gravas son utilizadas como agregados pétreos, ya sea para hormigón y morteros recebo, vías y pavimentos. Además, son aplicados para mejorar las propiedades mecánicas de algunos suelos, y en la obras civiles son utilizadas como drenajes y filtros (Acosta et al., 2013).

Antes de iniciar una explotación de material pétreo, se debe conocer las condiciones de la formación de los depósitos, su origen, y cuál es el tipo de material que se va a extraer y sobre todo la cantidad de recursos presentes, esto permite tener una mejor planificación de extracción de la cantidad de material disponible. Conocer la cantidad de reserva un depósito, es un factor importante para la determinación de la viabilidad económica, que influye principalmente en la producción anual y en la decisión final de invertir o no en la extracción minera (Acosta et al., 2013).

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Estratigrafía Secuencial

La estratigrafía secuencial estudia las relaciones que existen entre las rocas sedimentarias pertenecientes a un conjunto de estratos que poseen una relación genética, limitados por superficies de erosión, no sedimentación o sus concordancias correlativas (Van Wagoner ,1995).

### 2.2 Espacio de Acomodación

Según (Jervey, 1988), el espacio de acomodación es aquel espacio entre el nivel del mar y la interface sedimento-agua (Figura 2.1). Este espacio de acomodación se creará o reducirá en función del tectonismo y eustatismo (Octavian Catuneanu, 2006).

Las variaciones del aporte sedimentario y el espacio de acomodación (Figura 2.2) crean cambios en la arquitectura estratigráfica, transgresivas y regresivas (Octavian Catuneanu, 2006; Miall, 2010).

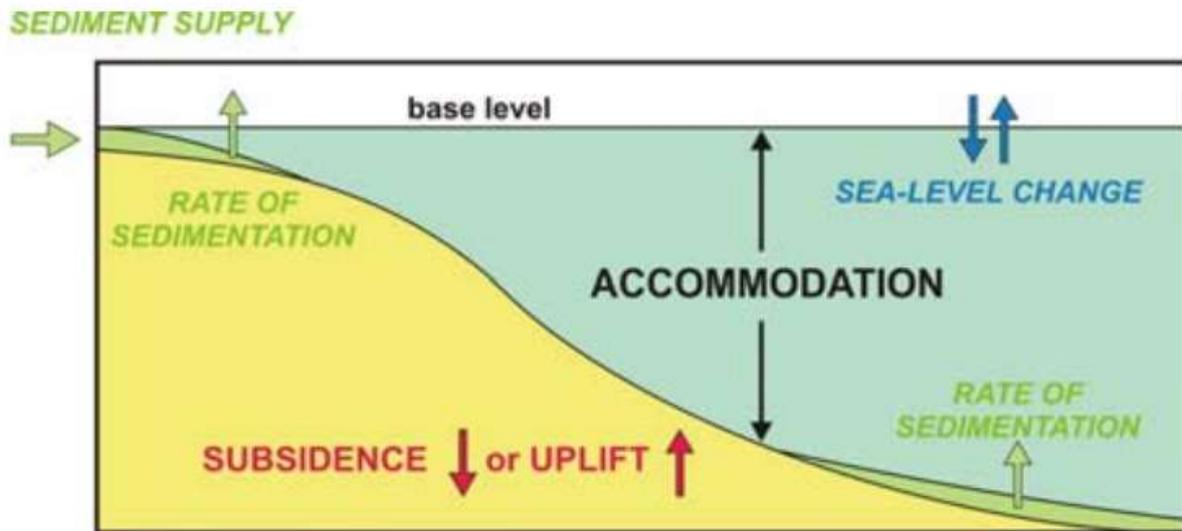


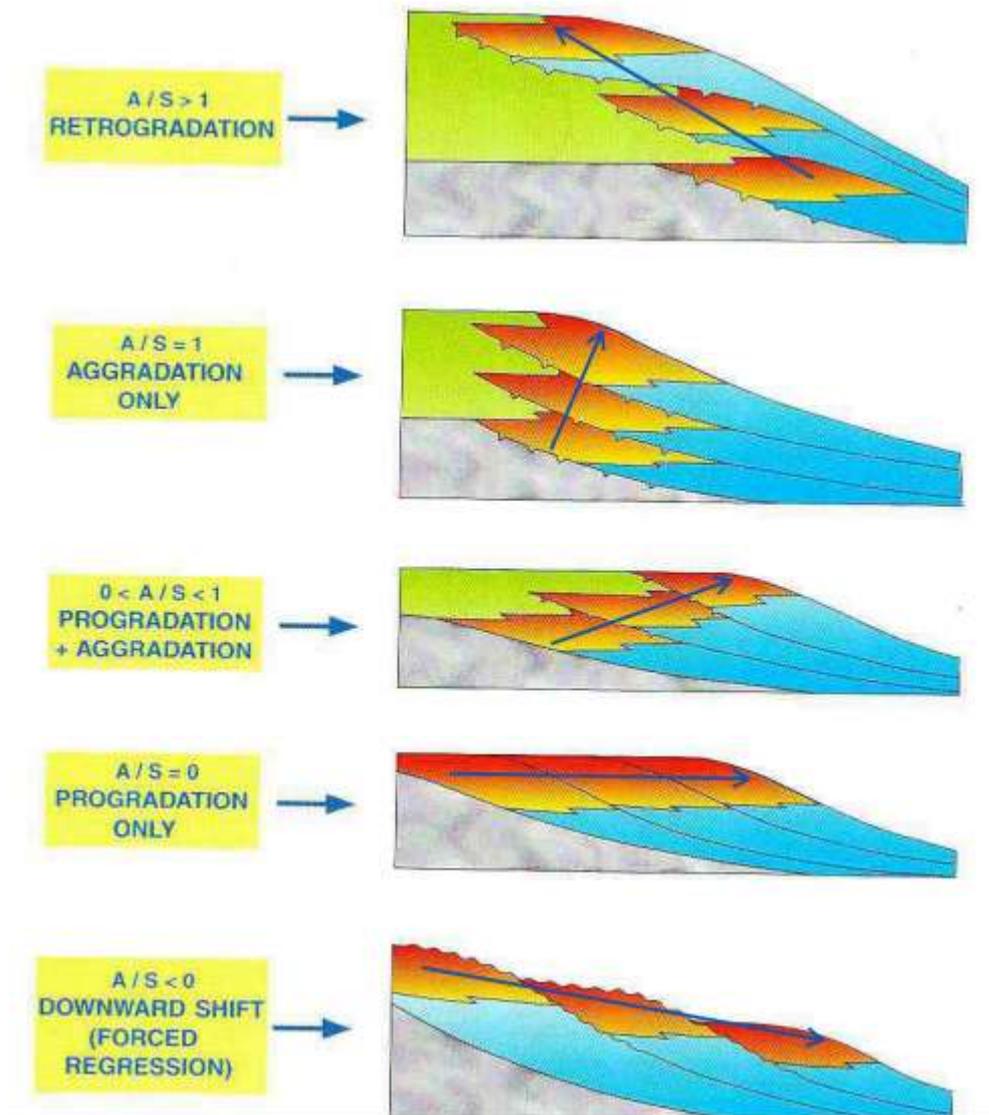
Figura 2.1 Espacio de acomodación y los principales controles sedimentarios alogénicos. Tomado de (Miall, 2010).

### 2.2.1 La transgresión (T)

La transgresión es el desplazamiento de la línea de costa hacia el continente, cuando el espacio de acomodación es mayor al aporte sedimentario (Figura 2.3). Su forma de apilamiento o “retrogradación” constituye la acumulación sucesiva de facies hacia terreno continental (Homewood et al., 2000; Marocco, 2009).

### 2.2.2 La regresión (R)

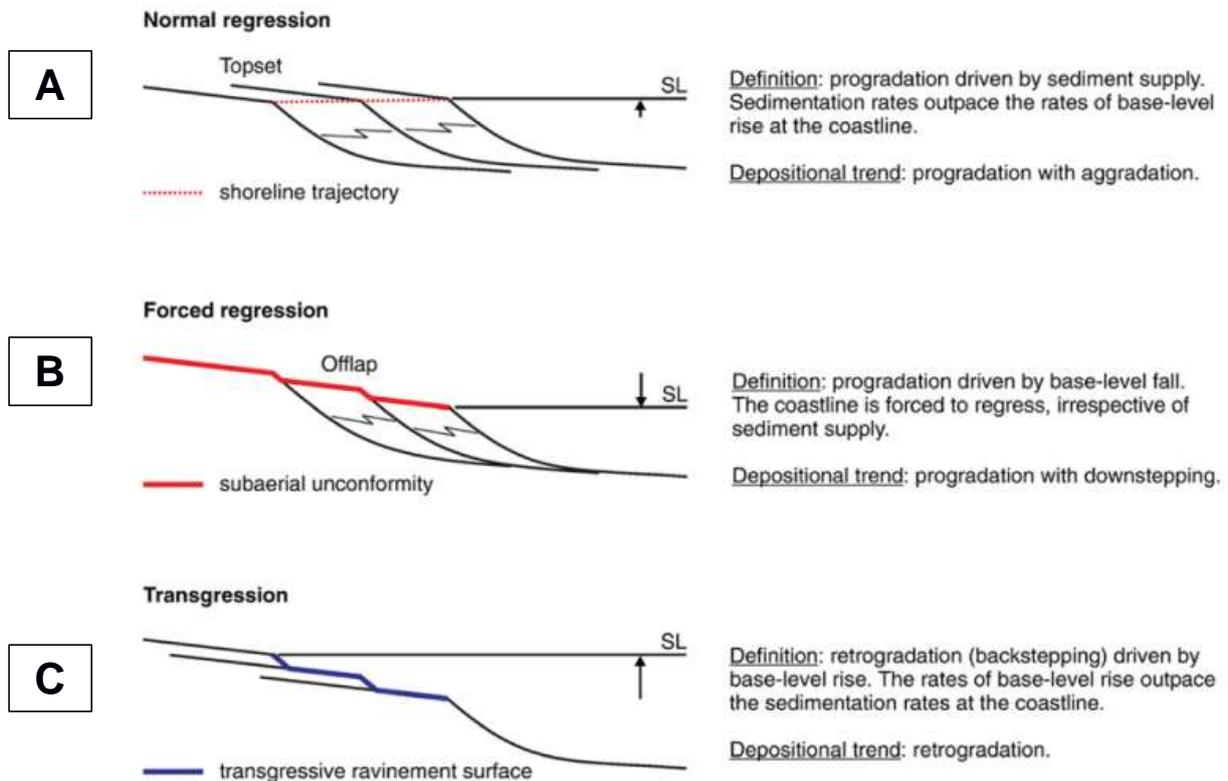
Es el desplazamiento de la línea de costa mar adentro, se produce cuando el aporte sedimentario es mayor al espacio de acomodación (Figura 2.3). Su forma de apilamiento o “progradación” constituye la acumulación sucesiva de facies hacia el mar (Octavian Catuneanu, 2006).



**Figura 2.2 Configuraciones de arquitecturas estratigráficas.**

Retrogradación, agradación, progradación, y regresión forzada. Dependerán del espacio de acomodación (A) y el aporte sedimentario (S) (Homewood et al., 2000).

De acuerdo con (Octavian Catuneanu, 2006; Homewood et al., 2000), existen dos tipos de regresión: (i) La regresión forzada (FR) se produce cuando el nivel de base baja y la línea de costa migra hacia el mar cualquiera que sea el aporte sedimentario, originando procesos de erosión. (ii) La regresión normal (NR) se produce mediante la subida del nivel del mar y la tasa de sedimentación es superior a la tasa del nivel del mar donde su arquitectura estratigráfica es la combinación de agradación-progradación (Figura 2.2).



**Figura 2.3 A) Regresión normal; B) Regresión forzada; C) Retrogradación (Modificado de O. Catuneanu et al., 2009).**

### 2.2.3 La secuencia estratigráfica

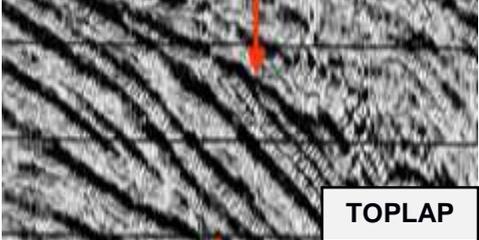
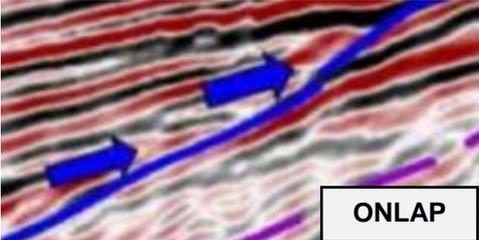
Como argumenta (Robin, 1997), las secuencias estratigráficas poseen los registros de las variaciones eustáticas, la deformación tectónica y procesos sedimentarios.

Para su interpretación se definen terminaciones estratigráficas y configuración geométrica. Además los tipos de superficies que se forman por las etapas de subida o caída del nivel del mar, para poder establecer los cortejos sedimentarios que se encuentran limitados por estas superficies y los límites de secuencia (Octavian Catuneanu, 2006).

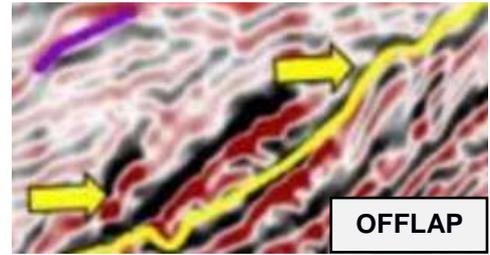
## 2.2.4 Terminaciones estratales y configuración geométrica

Las terminaciones estratales son aquellas relaciones geométricas entre los estratos y las superficies estratigráficas contra las que terminan (Mitchum, 1977) y se presentan en la tabla 2.1 a continuación:

**Tabla 2.1 Características de las terminaciones estratales en reflectores sísmicos (Octavian Catuneanu, 2002; Illidge et al., 2016; Mitchum, 1977; Snedden & Sarg, 2008).**

<p><b>Truncación:</b> terminación estratal contra una superficie de erosión supra yacente, que implica el desarrollo de una discordancia angular.</p>	 <p>TRUNCACIÓN</p> <p>Este diagrama muestra una serie de estratos inclinados que se cortan abruptamente por una superficie horizontal superior, representando una erosión. Flechas rojas indican la dirección de inclinación de los estratos.</p>
<p><b>Toplap:</b> implica capas inclinadas (clinoformas) contra una superficie suprayacente de bajo ángulo, por una no-depositación con poca erosión.</p>	 <p>TOPLAP</p> <p>Este diagrama muestra estratos inclinados que se superponen a una superficie superior casi horizontal, indicando una deposición gradual sin erosión significativa.</p>
<p><b>Onlap:</b> terminación de bajo ángulo contra una superficie de pendiente superior. Hay tres tipos: i) onlap marino; ii) onlap costero y iii) onlap fluvial.</p>	 <p>ONLAP</p> <p>Este diagrama muestra estratos que se inclinan progresivamente hacia una superficie superior con una pendiente similar a la de los estratos.</p>
<p><b>Downlap:</b> terminación de estratos que se muestran inclinados contra una superficie de baja pendiente.</p>	 <p>DOWNLAP</p> <p>Este diagrama muestra estratos que se inclinan hacia una superficie superior que tiene una pendiente menor que la de los estratos.</p>

**Offlap:** se produce por la deposición en las regresiones forzadas, quedando al descubierto parte de la clinoforma preliminar.



La configuración geométrica los estratos pueden ser (Mitchum, 1977): “paralelo a subparalela”, “ondulado”, “divergente”, “caótico” y “contorneado” (Figura 2.4, A). Mientras que las formas típicas de las clinoformas son “sigmoide”, “oblicuo – tangencial”, “oblicuo – paralelo”, “complejo sigmoide – tangencial”, “hummocky” y “shingled” (Figura 2.4, B).

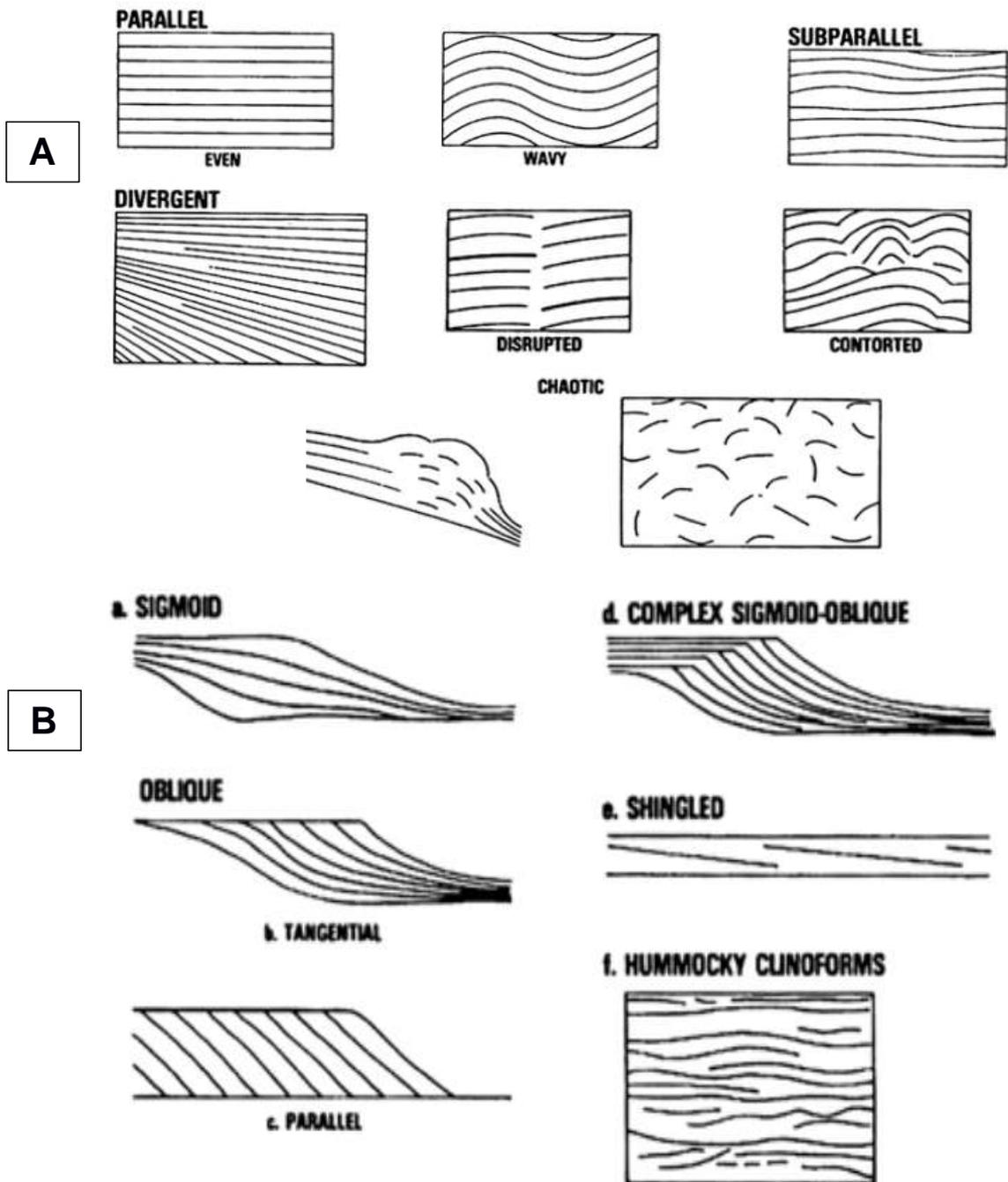


Figura 2.4 A) Configuración geométrica de los reflectores sísmicos;  
 B) Configuraciones típicas de las clinoformas (Mitchum, 1977).

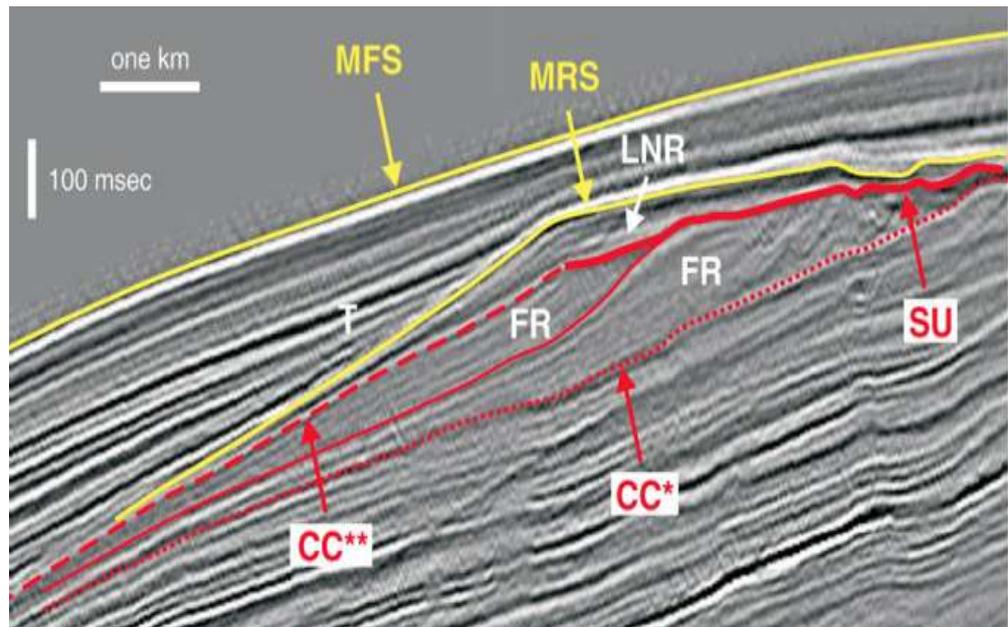
### **2.2.5 Superficies estratigráficas**

Las superficies estratigráficas (Figura 2.5) se utilizan como límites de cortejos sedimentarios y límites de secuencias (O. Catuneanu et al., 2009).

La superficie subaérea (subareal unconformity - SU) consiste en una superficie de erosión o de no depositación formada por procesos subaéreos en la regresión forzada (Octavian Catuneanu, 2006; Marocco, 2009). Se reconoce terminaciones estratales en truncación y su continuidad hasta un ambiente marino es la concordancia correlativa (correlative conformity-CC) (Muthre, 2016).

La superficie basal de regresión forzada (basal surface of forced regression - BSFR) está el fondo del mar al comienzo de la regresión forzada y forma la base de progradación (H. Posamentier & Allen, 1999).

La superficie de máxima regresión (maximum regressive surface – MRS), constituye el término de la regresión de la línea de costa y la superficie de máxima inundación (maximum flooding surface – MFS) constituye el término de la transgresión de la línea de costa (Marocco, 2009).



**Figura 2.5 Perfil sísmico con diferentes tipos de depósitos.**  
**(FR) Regresión Forzada, (LNR) Regresión Normal, (T) Transgresión; y sus superficies estratigráficas (SU) Superficie Subaérea, (CC\*\*) Concordancia correlativa, (CC\* o BSFR) Superficie Basal de Regresión Forzada, (MRS) Superficie de máxima regresión, (MFS) Superficie de máxima inundación) (O. Catuneanu et al., 2009).**

### 2.2.6 Cortejos sedimentarios

Los cortejos sedimentarios o systems tracts (Tabla 2.2) están ligados a los ciclos de subida y bajada del nivel de base y establecen las divisiones de las secuencias de depósitos (Marocco, 2009).

**Tabla 2.2 Características de los cortejos sedimentarios. Modificado de (Octavian Catuneanu, 2006; Homewood et al., 2000; Marocco, 2009).**

<b>FSST</b>	<p style="text-align: center;"><b>Falling stage systems tract</b></p> <p style="text-align: center;">Se produce con el descenso del nivel del mar, la acumulación de sedimentos en la parte marina y se erosiona en la parte de la superficie subárea expuesta.</p>
<b>LST</b>	<p style="text-align: center;"><b>Lowstand systems tract</b></p> <p style="text-align: center;">Sucede cuando el aporte sedimentario sobrepasa la velocidad de subida del nivel del mar.</p>
<b>TST</b>	<p style="text-align: center;"><b>Transgressive systems tract</b></p> <p style="text-align: center;">Se forma cuando la velocidad de subida del nivel de base sobrepasa al aporte sedimentario.</p>
<b>HST</b>	<p style="text-align: center;"><b>Highstand systems tract</b></p> <p style="text-align: center;">Resulta de un aporte sedimentario superior a la velocidad de subida del nivel de base.</p>
<p>Base: BSFR Tope: SU Y CC</p> <p>Base: SU y CC Tope: MRS</p> <p>Base: MRS Tope: MFS</p> <p>Base: MFS Tope: BSFR y SU</p>	

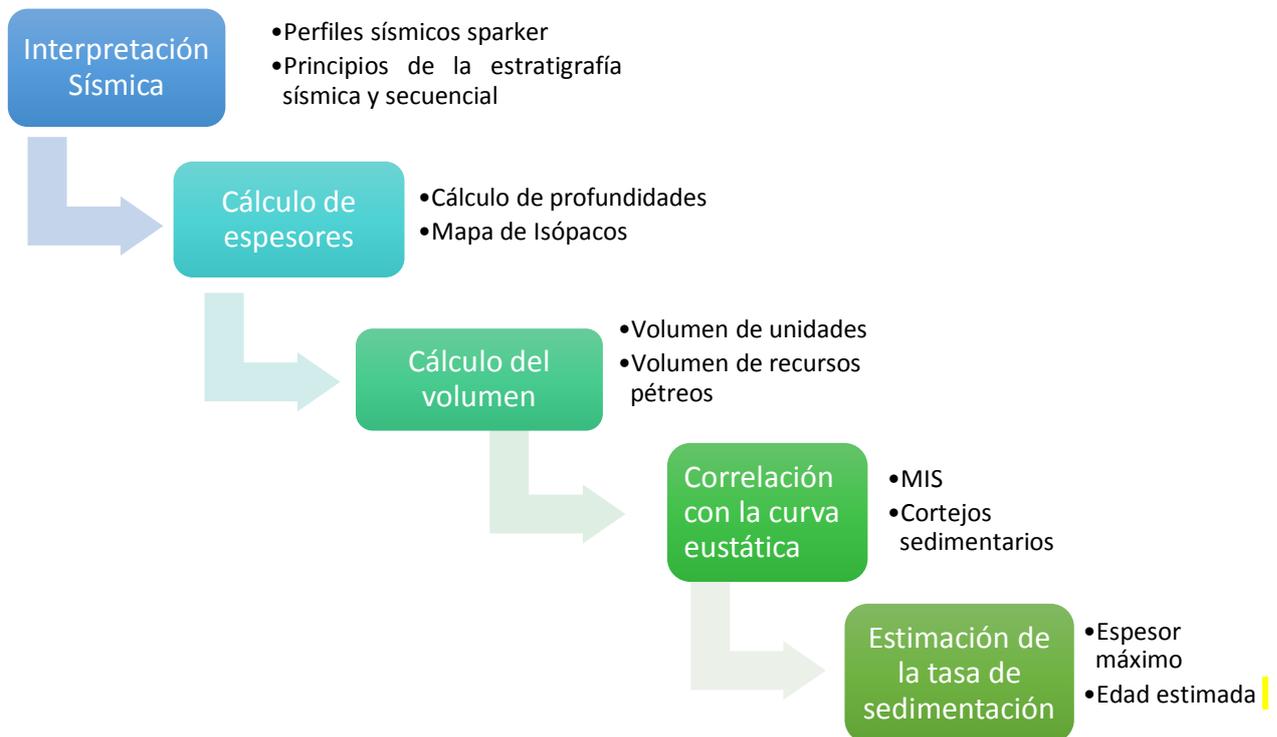
### **2.2.7 Modelo de secuencia transgresivo-regresivo (T-R)**

Este tipo de secuencia estratigráfica propuesta por Embry & Johannessen (1992), limita en la zona discordante por SU y en la zona concordante por MRS (Embry, 2002). Concentran el cortejo transgresivo (TST) en el límite de la base y sobre este el cortejo regresivo (RST).

# CAPÍTULO 3

## 3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el presente trabajo se muestra en el esquema de la Figura 3.1, la cual constó de cinco fases: (I) Interpretación Sísmica; (II) Cálculo de espesores; (III) Cálculo de volumen; (IV) Correlación con la curva eustática y (V) Estimación de la tasa de sedimentación.



**Figura 3.1 Esquema sintetizado de la metodología propuesta para evaluación de los stocks sedimentarios disponibles para el tránsito costero.**

### 3.1 Datos Sísmicos

La interpretación de los datos sísmicos permite deducir el ambiente y la configuración geométrica de los estratos para poder definir la sucesión estratigráfica referencial que muestre las sucesiones de la transgresión y la regresión (Michaud et al., 2015). Los datos utilizados en este estudio corresponden a la reflexión sísmica de Sparker recopiladas durante la campaña ECUASPARK 2020 por parte de ESPOL, IRD y GEMAC; en 100 km<sup>2</sup> de plataforma continental (Figura 3.2), donde se interpretaron 193 km de línea de trayectoria para determinar el carácter, distribución y geometría de las secuencias sísmicas.

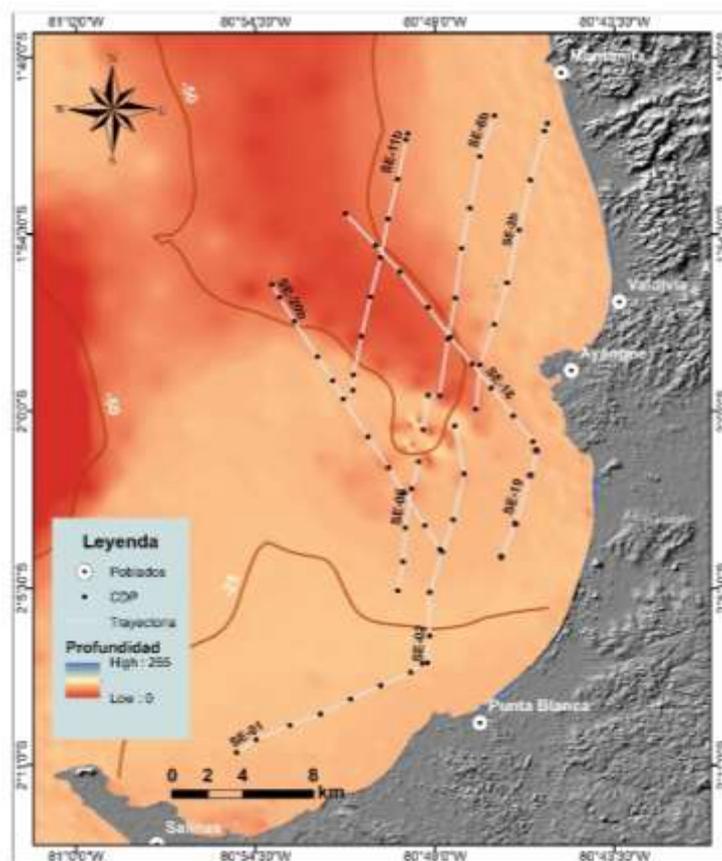
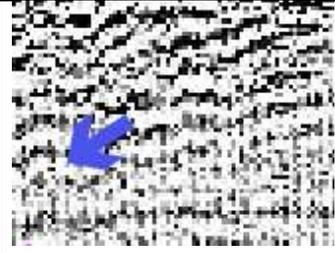
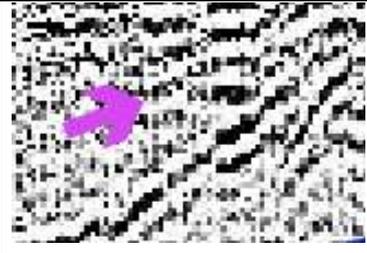
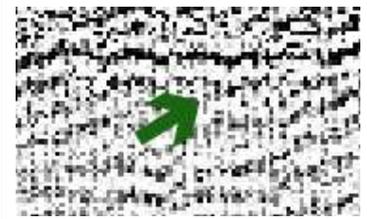


Figura 3.2 Perfiles Sísmicos. Trayectorias de los datos de sísmica recolectados en la plataforma continental.

### 3.2 Interpretación Sísmica

Los datos sísmicos fueron interpretados mediante los principios de la estratigrafía sísmica y de la estratigrafía secuencial (Octavian Catuneanu, 2006). Para ello se tuvo como guía el procedimiento utilizado para la interpretación datos sísmicos de (Martillo, 2016): i) primero, la interpretación de facies sísmicas para poder definir el ambiente sedimentario y litología, utilizando los criterios de amplitud, continuidad, frecuencia y configuración de los reflectores; ii) segundo, la identificación de terminaciones de reflectores (onlap, toplap, downlap, truncation y offlap) mostrados en la Tabla 3.1, para determinar las superficies estratigráficas (MRS, MFS, SU), que son los límites de los cortejos sedimentarios (RST, TST).

**Tabla 3.1 Caracterización de terminaciones estratales en líneas sísmicas.**

	
<b>Downlap</b>	<b>Onlap</b>
	
<b>Truncation</b>	<b>Toplap</b>

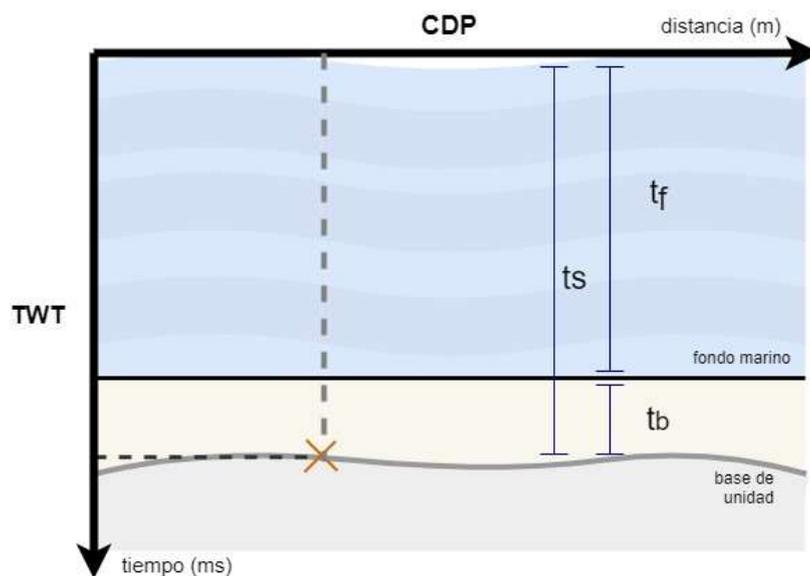
### 3.3 Cálculo de espesores

Esta sección se divide en dos pasos:

- Primero, se elaboró una tabla que permite obtener la profundidad de los horizontes de las unidades y, a su vez caracterizar los paleocanales encontrados en estos. En la Figura 3.3, la línea horizontal representa el CDP (Control Deep Point) y la línea vertical, el TWT (Two Way Travel time) que corresponde al tiempo doble necesario para la toma de datos, la intersección de ambas permitió ubicar la profundidad calculada con las Ecuaciones 3.1 y 3.2. Considerándose una  $v_a=1500$  m/s para la fase de agua y  $v_s=1600$  m/s para la fase de sedimentos (Proust et al., 2016).

$$t_b = t_s - t_f \quad \text{Ecuación 3.1}$$

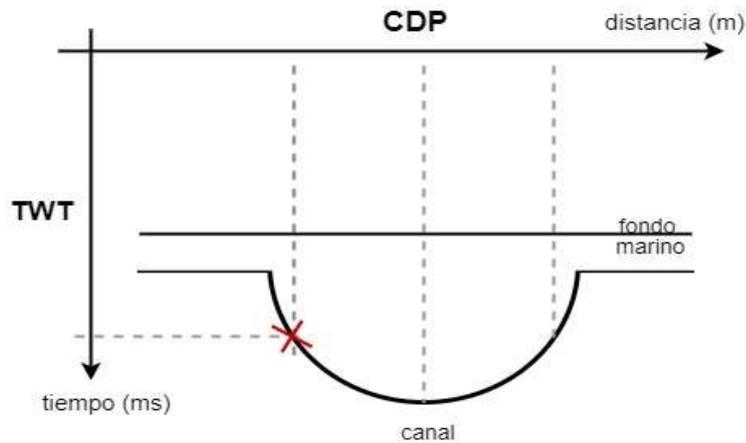
$$p = \left( \frac{t_f}{v_a} + \frac{t_b}{v_s} \right) / 2 \quad \text{Ecuación 3.2}$$



**Figura 3.3 Esquema de cálculo de profundidades. Abreviaciones:  $t_s$  - TWT hasta la base de unidad;  $t_f$  -TWT hasta el fondo oceánico,  $t_b$  - TWT desde el fondo oceánico hasta la base de unidad, TWT – Two Way Travel Time y CDP – Control Deep Point.**

En el caso de los paleocanales se consideran de 3 a 4 puntos para obtener una mejor geometría y ubicarlos espacialmente, considerándose como

mínimo un diámetro de 50 m debido a las escalas de las líneas sísmicas, de manera que, se consideren los principales (Figura 3.4).



**Figura 3.4 Esquema de los puntos considerados en los paleocanales para obtener su geometría. Abreviaciones: TWT – Two Way Travel Time y CDP – Control Deep Point.**

- b) La segunda parte, correspondió al cálculo de espesores para la posterior elaboración de mapas de isópacos. Con los datos obtenidos en el literal a y con la ayuda de SIGs (Surfer y ArcMap), por medio de la interpolación tipo Kriging de los puntos correspondientes a cada base de unidad para obtener las profundidades. Luego, se realizó álgebra de mapas entre las interpolaciones obtenidas para cada base de unidad y para producir su mapa de espesores.

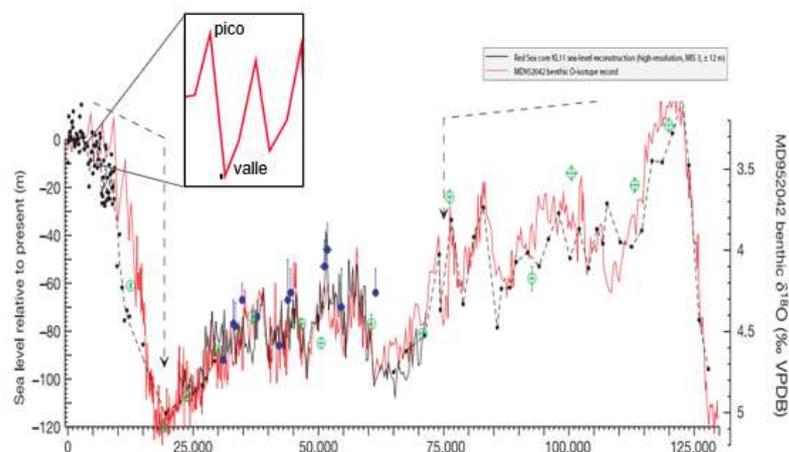
### 3.4 Cálculo de volumen

En este paso, se realizó la estimación del sedimento disponible que se encuentran en la plataforma. Para ello se calculó el volumen de todas las unidades con el software ArcMap, donde se utilizó el espesor de cada unidad (tin) y un polígono del área de estudio que contenía el valor del espesor máximo de la unidad correspondiente.

Adicional, se calculó el volumen potencial para uso de agregados pétreos. Para lo cual se consideró que el área sea por debajo de los 50 m, donde no exista la acción del oleaje y, por tanto, no influir en el retroceso de las playas; observándose que el área potencial se extendería hacia el cañón de Santa Elena en donde se considera que se acumularía mayor cantidad de sedimentos.

### 3.5 Correlación con la curva eustática

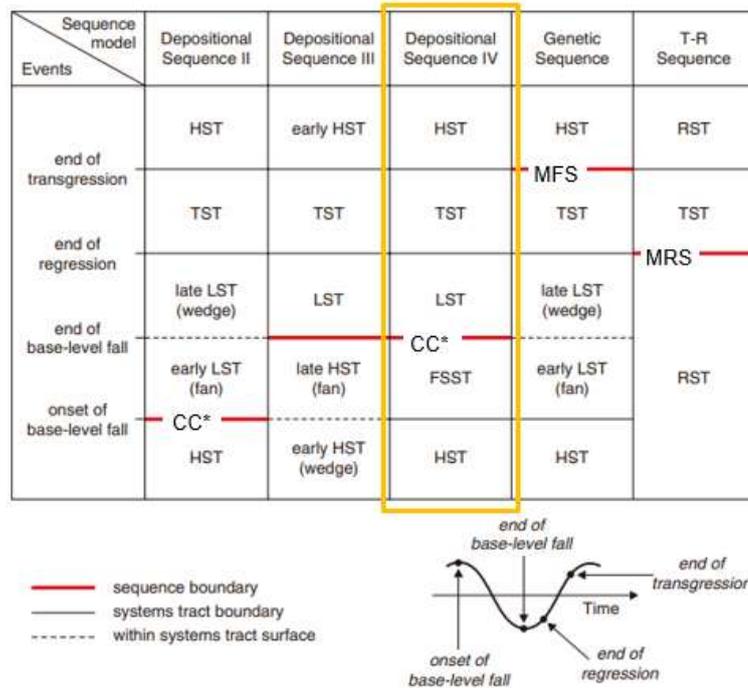
Para realizar la correlación se asumió que las secuencias T-R corresponden al registro de los ciclos glacio-eústáticos del Holoceno y, mediante la curva eustática que determina los registros de las variaciones del nivel del mar, basándose en el registro continuo de las proporciones de isotopos de oxígeno de aguas profundas que reflejan los cambios de temperatura. Donde cada pico y valle identificado en la Figura 3.5 se le asigna un numero de edad marina de isótopo que corresponde a los Estadios Isotópicos Marinos o MIS. Siendo las etapas con números pares, periodos glaciales y las impares, periodos interglaciares.



**Figura 3.5 Curva glacio-eústática. Modificado de (Siddall et al., 2003).**

Con las superficies estratigráficas y cortejos sedimentarios identificados, se llevó a cabo la correlación con la curva eustática. Para la cual, se necesitó

de una superficie de partida que, en este caso, de acuerdo con Hunt & Tucker (1992, 1995) y Helland-Hansen & Gjelberg (1994) se asumió un tipo de Secuencia Depositional IV, donde se considera como límite de secuencia la SU y CC (Figura 3.6).



**Figura 3.6 Nomenclatura de los cortejos sedimentarios y tiempo de los límites de secuencia para los diversos enfoques estratigráficos de secuencia. Modificado de (Octavian Catuneanu, 2006).**

### 3.6 Estimación de la tasa de sedimentación

Como último paso, con los espesores obtenidos y las edades estimadas por medio de la correlación con la curva eustática se procedió a calcular la tasa de sedimentación con la Ecuación 3.3.

$$\text{Tasa de sedimentación} = \frac{\text{espesor}}{\text{edad}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

# CAPÍTULO 4

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Interpretación Sísmica

#### 4.1.1 Facies Sísmicas

Se identificaron un total de 7 facies sísmicas que se muestran en la Figura 4.2 de las cuales se infirió el tipo de litología y ambientes (Figura 4.3).

Facie Sísmica 1 (Sf1): exhibió amplitudes medias a altas, continuidad baja y frecuencia media con una configuración hummocky. Debido a su configuración hummocky y la poca continuidad es probable que correspondan a canales rellenos de sedimentos de grano grueso en la llanura costera (Figura 4.3, B) de posibles sistemas de meandros fluviales, pertenecientes a una facie de cortejo regresivo.

Facie Sísmica 2 (Sf2): esta facie regresiva presentó una amplitud y continuidad media a alta y frecuencia media a baja, con una configuración progradacional corta de ángulo alto hacia el norte. Su alta amplitud y continuidad sugirió intercalaciones de arenas gruesas a limos de un ambiente costero (foreshore).

Facie Sísmica 3 (Sf3): su amplitud es media a baja, continuidad media y de frecuencia alta con una configuración paralela. Su amplitud media a baja insinuó una litología homogénea, su continuidad media y su frecuencia alta sugirió sedimentos arenas gruesas a finas estratificados de ambiente costero.

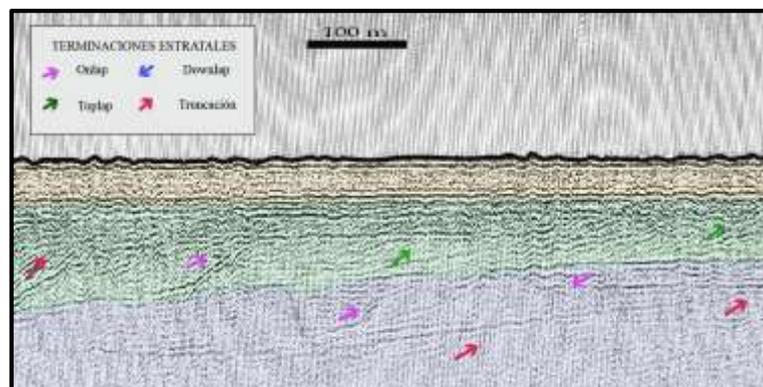
Facie Sísmica 4 (Sf4): mostró una amplitud media a baja, continuidad media a alta y frecuencia media a baja. Su configuración es paralela ondulada a transparente, presenta convergencia hacia la costa y divergencia hacia el mar.

Su amplitud baja y continuidad alta sugirió una litología homogénea de arenas finas a limos estratificados con intercalaciones de un ambiente marino somero.

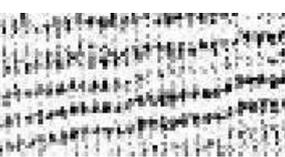
Facie Sísmica 5 (Sf5): presentó una amplitud y continuidad media a baja con y una frecuencia media a alta. Su configuración es paralela ondulada a transparente. La continuidad alta y la amplitud baja podrían corresponder a una litología homogénea probablemente una mezcla de sedimentos finos estratificados de un ambiente marino somero.

Facie Sísmica 6 (Sf6): esta facie transgresiva muestra una amplitud y continuidad media a alta y frecuencia media a baja. La configuración es paralela ondulada a subparalela. Su alta amplitud y continuidad sugirieron intercalaciones de sedimentos finos y gruesos bien estratificados.

Facie Sísmica 7 (Sf7): Esta facie constituye el basamento acústico, que es la base sobre la cual se depositan las secuencias y se caracteriza por una amplitud y continuidad media a alta con frecuencia media a baja. Su configuración es oblicua por deformación de reflectores convergiendo hacia el sur y este.



**Figura 4.1 Perfil sísmico SE-18 donde se muestran las terminaciones estratales.**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amplitud media a alta, continuidad baja y frecuencia media.</li> <li>● Configuración hummocky.</li> </ul>	<b>Sf1</b>	<b>R</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amplitud y continuidad media a alta y frecuencia media a baja.</li> <li>● Configuración progradacional.</li> </ul>	<b>Sf2</b>	<b>R</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amplitud media a baja, continuidad media y frecuencia alta.</li> <li>● Configuración paralela</li> </ul>	<b>Sf3</b>	<b>R</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amplitud media a baja, continuidad media a alta y frecuencia media a baja.</li> <li>● Configuración paralela ondulada y divergente hacia el mar.</li> </ul>	<b>Sf4</b>	<b>R</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amplitud y continuidad media a baja, y frecuencia media a alta.</li> <li>● Configuración paralela ondulada a transparente.</li> </ul>	<b>Sf5</b>	<b>R</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amplitud y continuidad media a alta y frecuencia media a baja.</li> <li>● Configuración paralela ondulada a subparalela.</li> </ul>	<b>Sf6</b>	<b>T</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amplitud y continuidad media a alta, frecuencia media a baja.</li> <li>● Configuración caótica y oblicua por deformación de reflectores.</li> </ul>	<b>Sf7</b>	<b>Basamento Acústico</b>

**Figura 4.2 Descripción de las facies sísmicas en SE-18.**

**R: Regresiva y T: Transgresiva.**

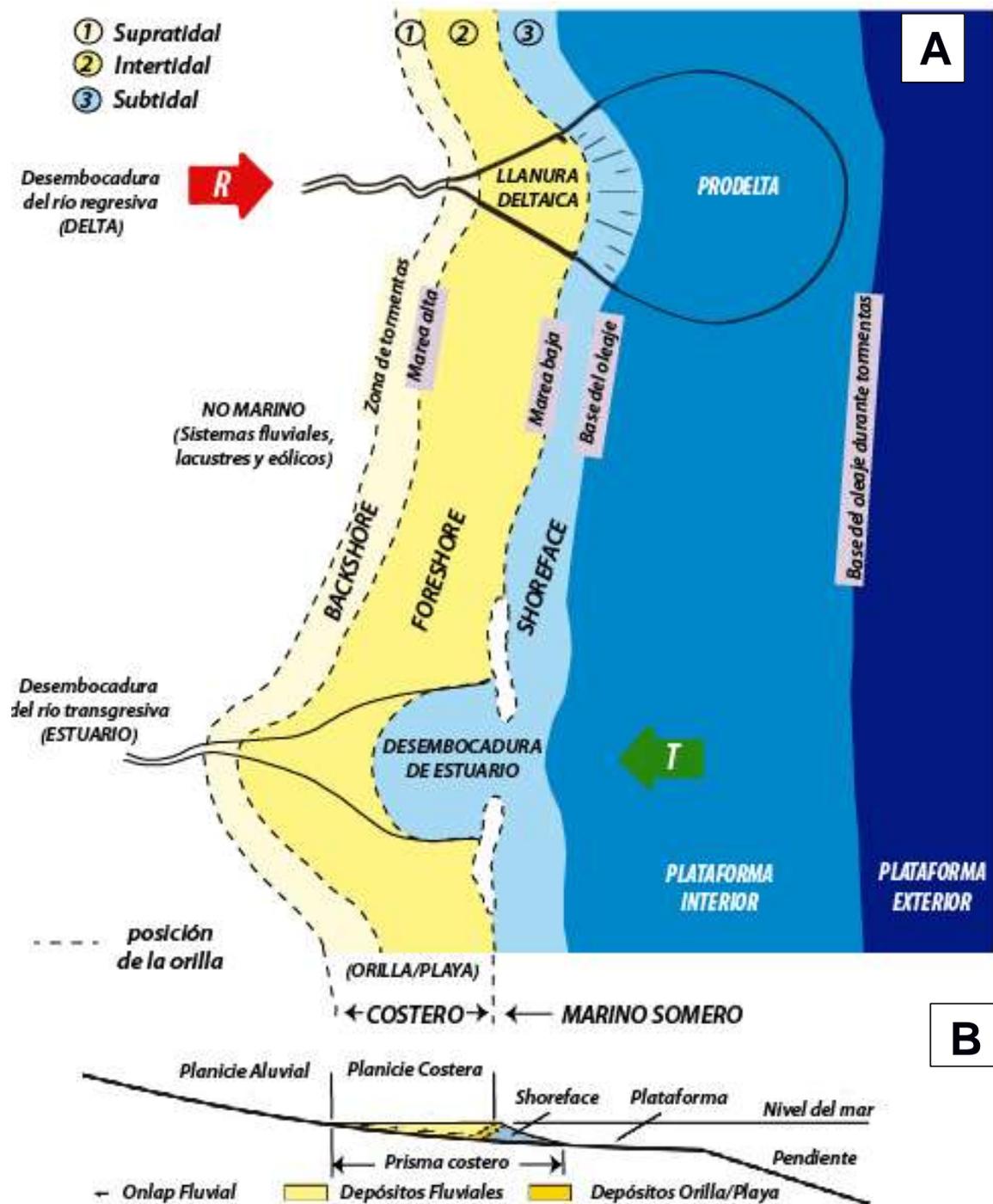


Figura 4.3 (A) Transición desde ambientes marinos a no marinos (Modificado de Octavian Catuneanu, 2006) y (B) Perfil con los principales escenarios geomórficos y depositarios de una plataforma continental: llanura aluvial, llanura costera, litoral y marino somero (Modificado de H. W. Posamentier et al., 1992).

#### 4.1.1 Límites y Unidades

Con las facies y superficies identificadas con las terminaciones estratales (Figura 4.1), se diferenciaron 4 unidades que corresponden a 4 secuencias de depósito, las cuales se correlacionaron con la curva eustática (Figura 4.10) obteniéndose las edades aproximadas mostradas en la Tabla 4.1 y, además, se muestra la superficie de sus bases en la Figura 4.5.

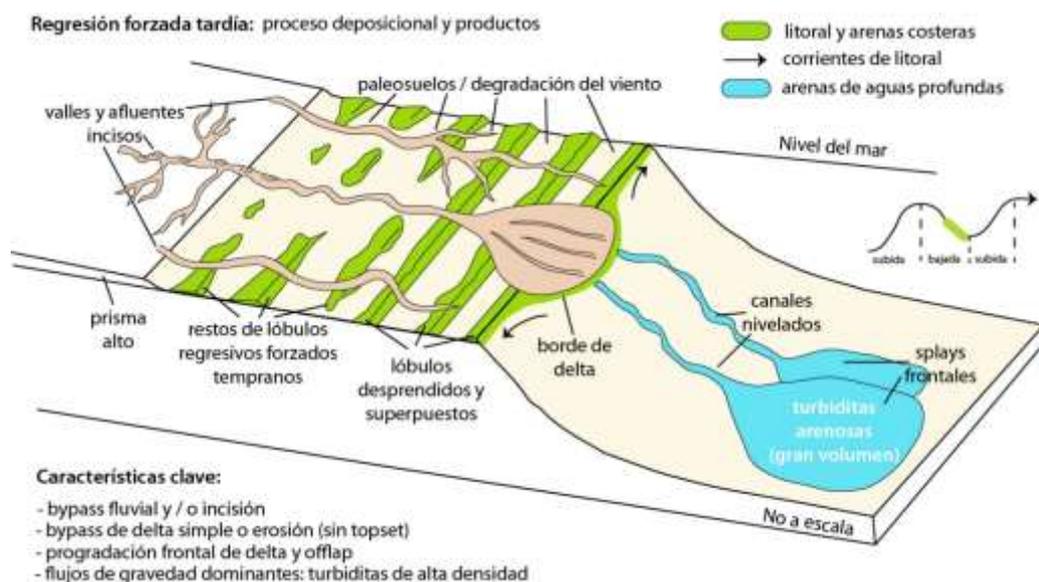
Unidad I: Representó la primera secuencia de depósito DS1 y el inicio de la DS2, delimitadas en la base por el basamento acústico y en su tope por un MFS. En esta unidad se identificó que el basamento corresponde a una SU y CC, sobre la cual se consideró que se presentan dos secuencias de T-R. Con una facie Sf5, mostró progradaciones hacia el NO, con un espesor máximo de 76,7 m que corresponde al mayor de todas las unidades. La edad de su basamento se estimó en ~48000 años.

Unidad II: Está limitada en su base por un MFS y en su tope por una SU, conformada por las secuencias de depósito DS2 y DS3. Mostró progradaciones de bajo ángulo hacia el NO que se identificó en la disposición de sus reflectores y se detalla en la facie Sf4. La edad estimada de esta Unidad corresponde a ~35000 años y posee un espesor máximo de 48,2 m.

Unidad III: Se encuentra entre la SU (base) y un MFS (tope) e iniciando la secuencia de depósito DS4. En ella predominan las facies Sf2, con progradaciones de alto ángulo hacia el NO y la facie Sf1 que corresponde a sistemas de paleocanales, donde se identificaron sólo en su límite inferior 46 paleocanales. Por otro lado, esta Unidad mediante la curva glacio-eustática se la correlacionó con el último máximo regresivo (Figura 4.10), lo que permitió a su vez estimar las edades de las demás unidades (Tabla 4.1). Esto se debe a que es la única Unidad que mostró la mayor cantidad de paleocanales, que generalmente se forman en la zona intertidal a unos ~5 km. Sin embargo, estos paleocanales se encontraron en las líneas sísmicas hasta ~20 km

alejados de la costa (ver Figura 4.4), en la plataforma interna donde ya no existe influencia del oleaje; lo cual da indicios de que sólo un evento a escala regional podría causar que la zona intertidal avance hasta la plataforma interna, lo cual se le otorgaría a la última regresión cuando el nivel del mar bajó hasta los 120 m aproximadamente. De acuerdo con la correlación se le estableció una edad aproximada de 19500 años y un espesor máximo de 29,8 m.

Unidad IV: Es la continuación de la secuencia de depósito DS4, limitada en su base por un MFS y en su tope el fondo marino, caracterizada por la Sf3. Selecciona por ser la Unidad más superficial y que favorecería la extracción de recursos pétreos. A esta se le otorga una edad a partir de la correlación realizada con la Unidad III de ~9500 años. Adicional, presentó un espesor máximo de 16,1 m.



**Figura 4.4 Esquema de regresión forzada. Presencia de paleocanales en la plataforma continental (Modificado de Octavian Catuneanu, 2006).**

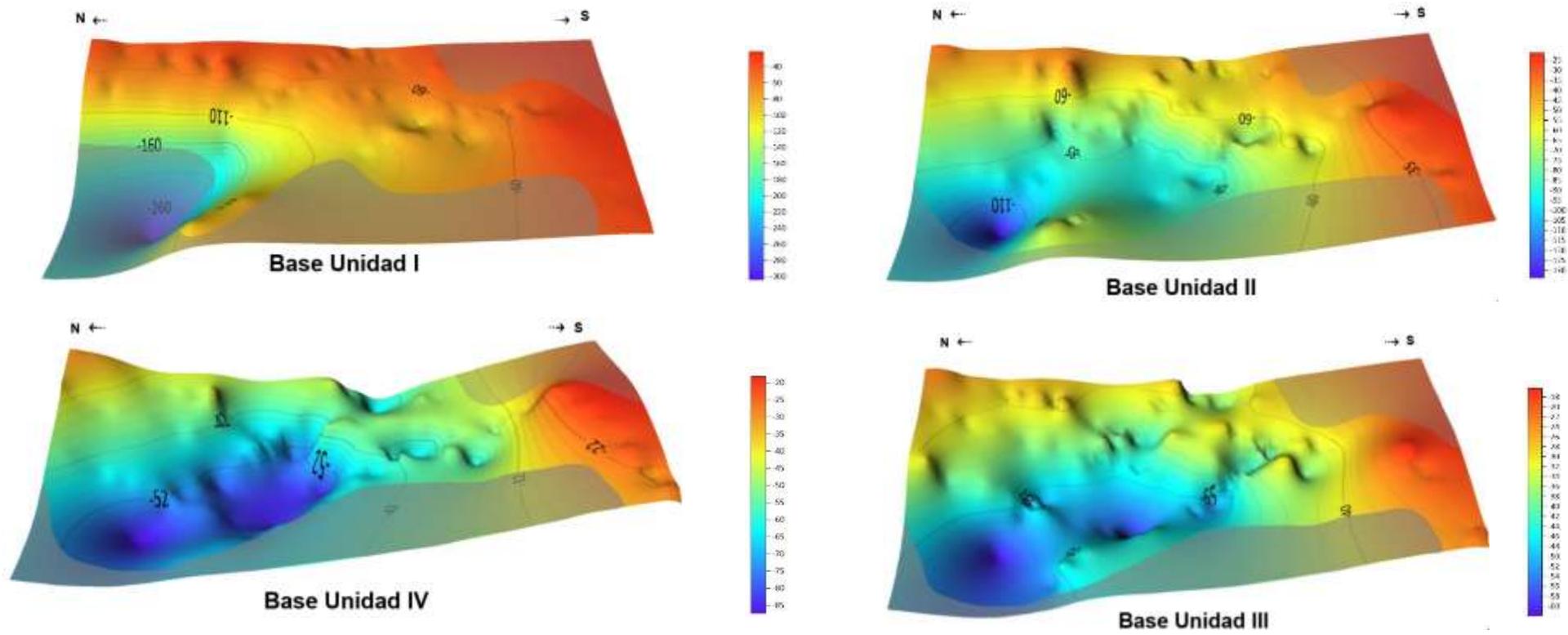


Figura 4.5 Bases de las Unidades con sus profundidades donde las zonas grises representan zonas de inseguridad por ausencia de datos.

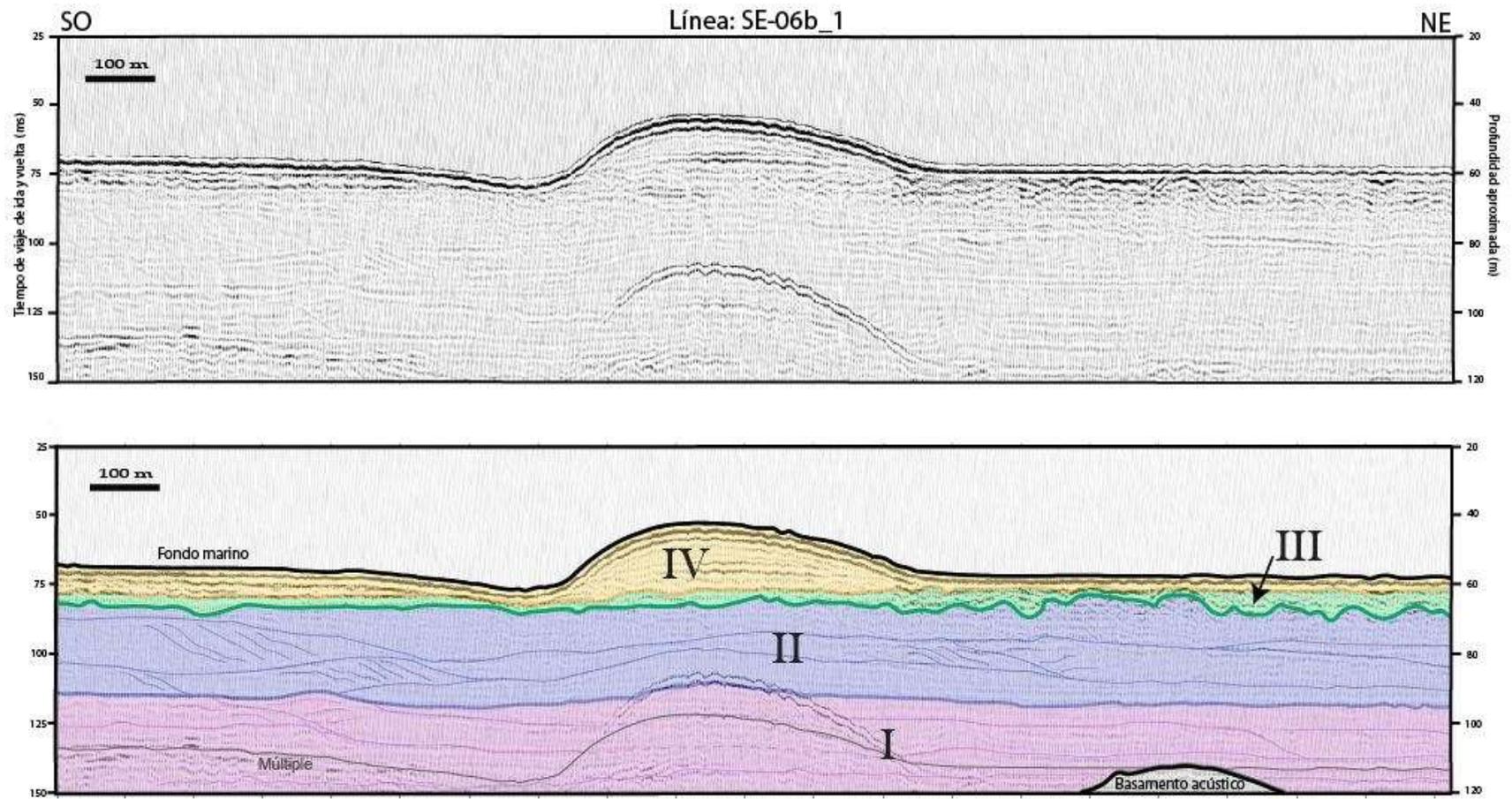


Figura 4.6 Perfil sísmico SE-06b donde se evidencian las progradaciones hacia el noreste de las Unidades I y II.

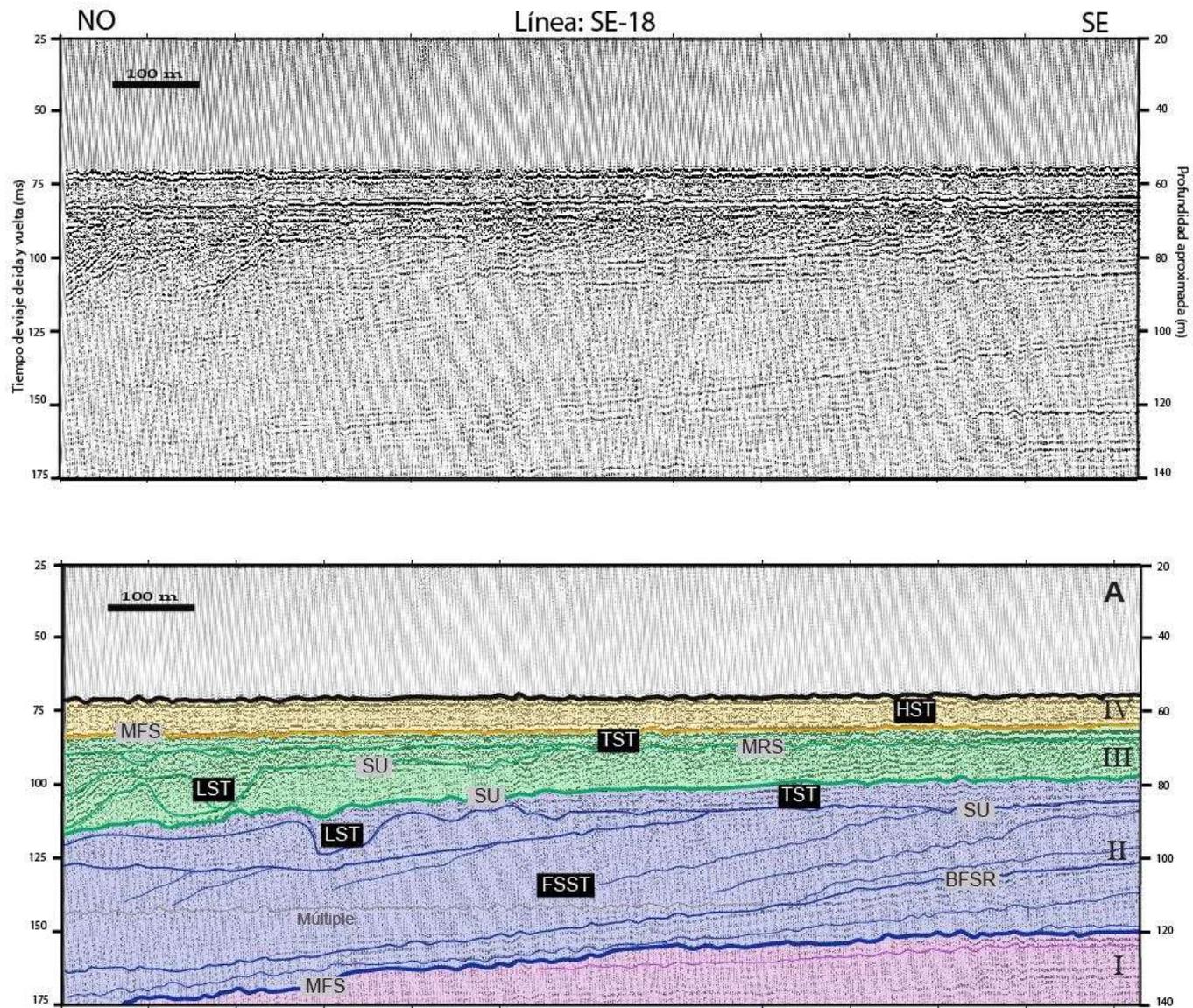
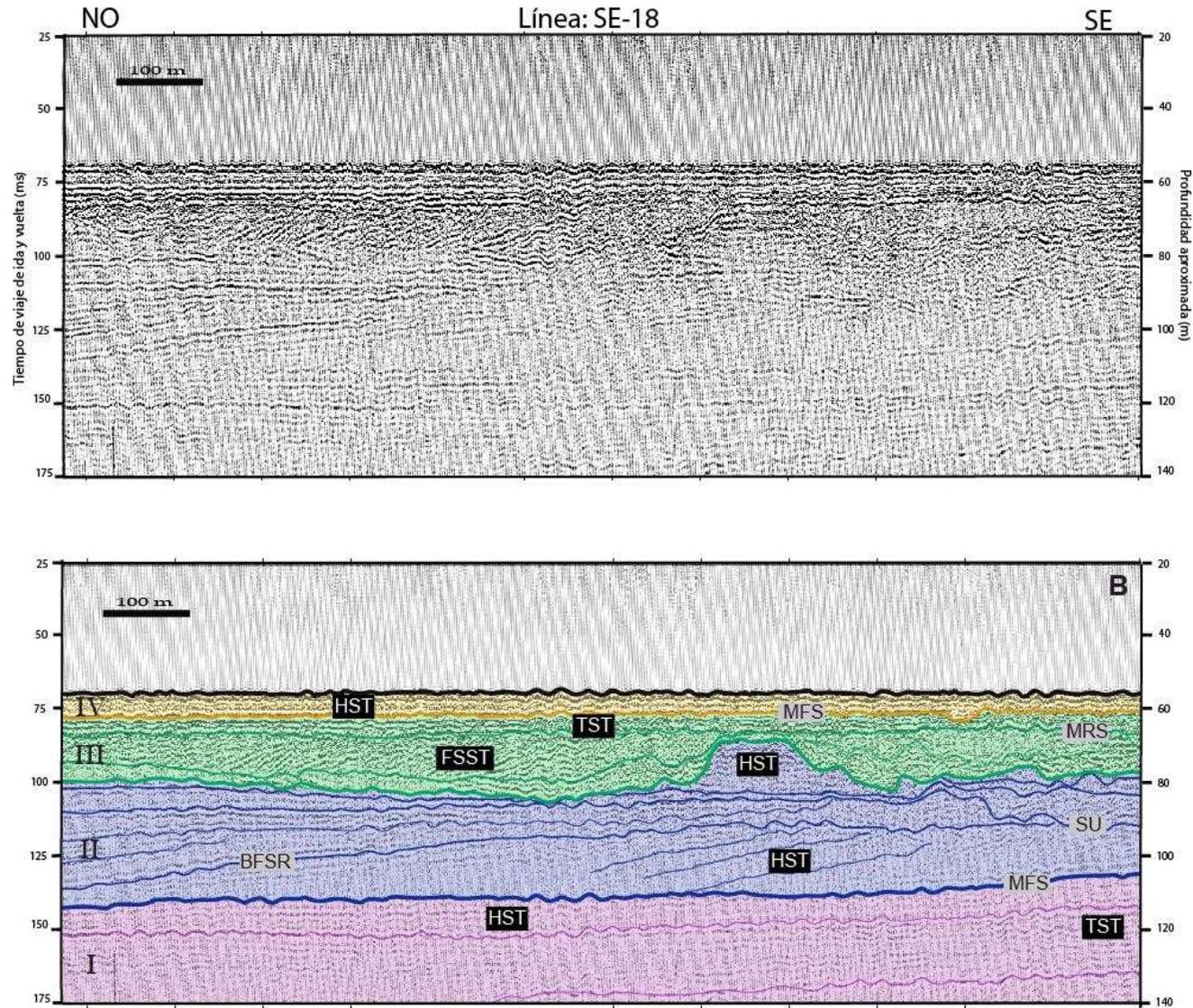
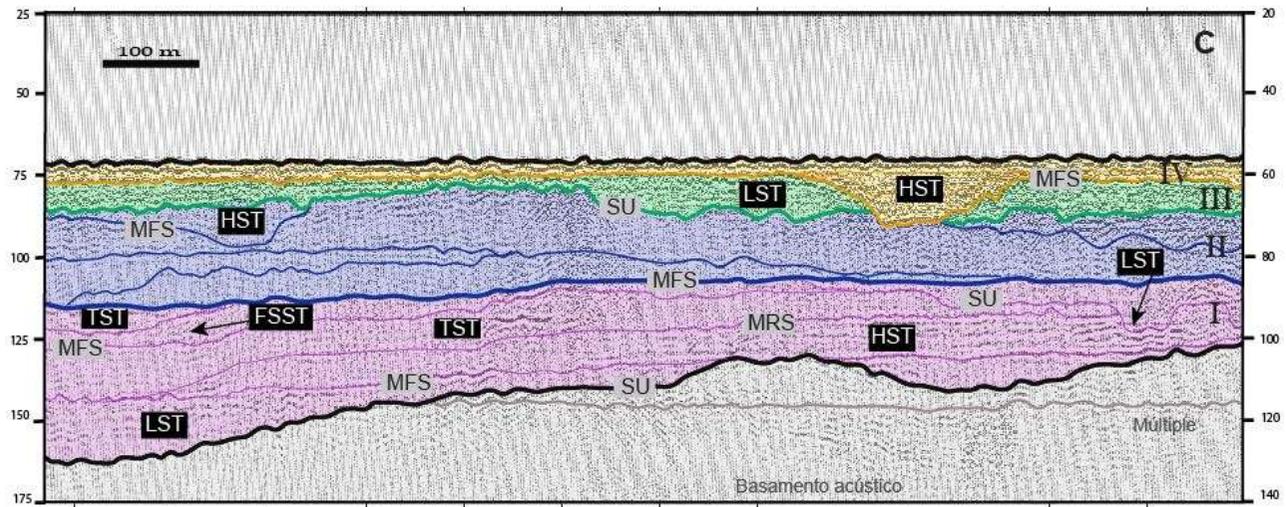
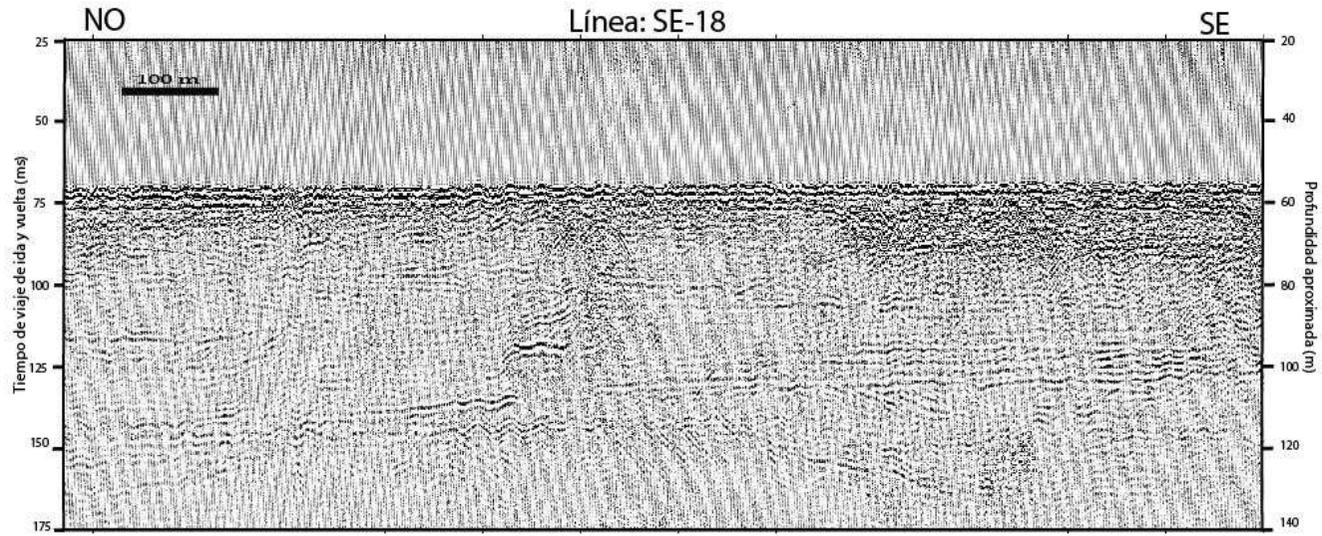


Figura 4.7 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-18, parte A.



**Figura 4.8 Superficies y cortesijos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-18, parte B.**



de la línea SE-18, parte C.

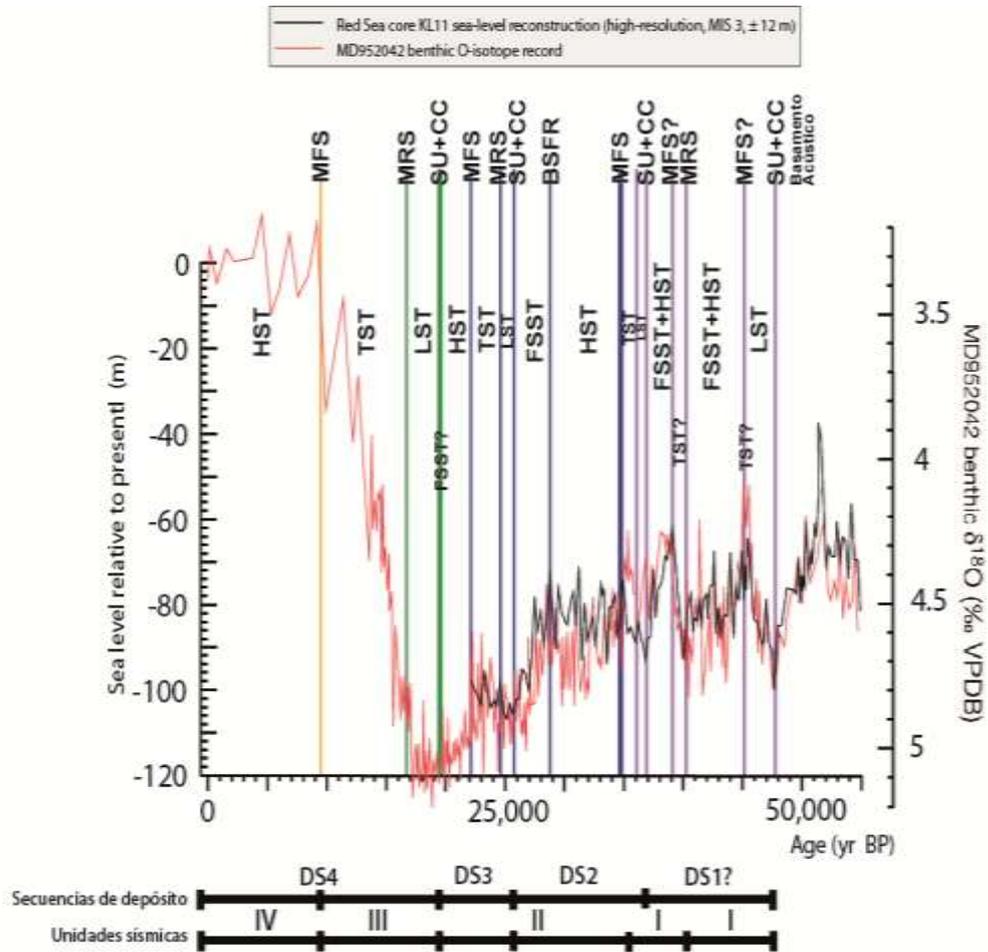
#### 4.1.2 Correlación de Unidades sísmicas

Para poder realizar un análisis regional de las unidades se llevó a cabo la correlación entre líneas sísmicas a partir de un punto de intersección, correlacionándose 4 intersecciones (Figura 4.11-4.12), además de otros puntos cercanos entre líneas.

En un análisis general de la disposición de las unidades, se observó que estas se depositan sobre un basamento (Sf7), el cual representa una SU, por lo que se considera que fue moldeado y esculpido en una regresión. Apreciándose en la Figura 4.11 entre las líneas SE-02b\_2 y SE-18. Sin embargo, el basamento presentó mayores espesores en las líneas más cercanas a la costa, como es el caso de las líneas SE-02b\_2 y SE-19 (ver Anexo A), disminuyendo hacia el O y NO.

Sobre el basamento se consideró que se depositaron 4 secuencias de depósito (Figura 4.9), identificándose la base de estas debido a la facilidad que presentaron al momento de seguir los reflectores. La Unidad I representó la secuencia de depósito más antigua (~48000 años) y se considera como la de mayor espesor (>76,7 m). Se observó en la mayoría de las líneas, en menor grado en la SE-02b\_2 y no se muestra en la SE-19 (ver Anexo A), por lo que se infiere que fue erosionada. Seguidamente, se depositó la Unidad II, continuidad en todas las líneas (ver Anexo A) con un aumento de su espesor hacia el O y NO que, junto con la Unidad III muestran progradaciones del tipo “tejado” con dirección NE (Figura 4.6); además de fuertes clinofomas oblicuas que van del SE al NO (Figura 4.7-4.8). Es así como la Unidad III se presenta con facies del tipo Sf1 de configuración hummocky correspondientes a un LST que rellena los paleocanales en la plataforma, y facies del tipo Sf2 con clinofomas oblicuas de alto ángulo, las cuales podrían representar un FSST (ver Anexo A, Figura 2). No obstante, la más reciente (Unidad IV) tiene facies

del tipo Sf3 correspondientes a un HST que exhibió una continuidad en todas las líneas (ver Anexo A) y es la unidad de menor espesor ~16,1 m.



**Figura 4.10** Correlación de las superficies estratigráficas con los MIS  
(Modificado de (Siddall et al., 2003))

**Tabla 4.1 Edades estimadas de las unidades de acuerdo con los MIS.**

<b>Unidad Sísmica</b>	<b>Número MIS-Glaciario</b>	<b>Número MIS-Interglaciario</b>	<b>Edad Estimada- Unid. (Ka)</b>
IV	-	MIS 1	<10
III	MIS 2	MIS 1	19,5 – 9,5
II	MIS 2	MIS 3	35 – 19,5
I	-	MIS 3	48 - 35

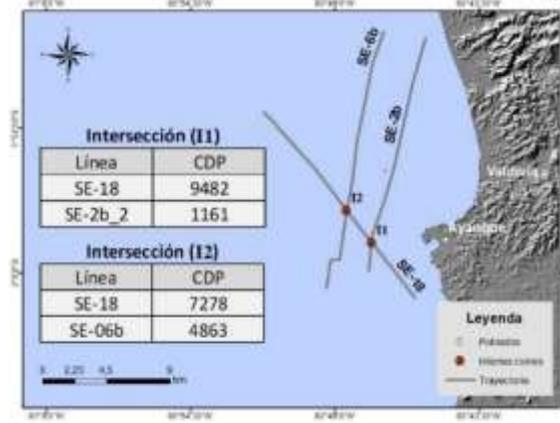
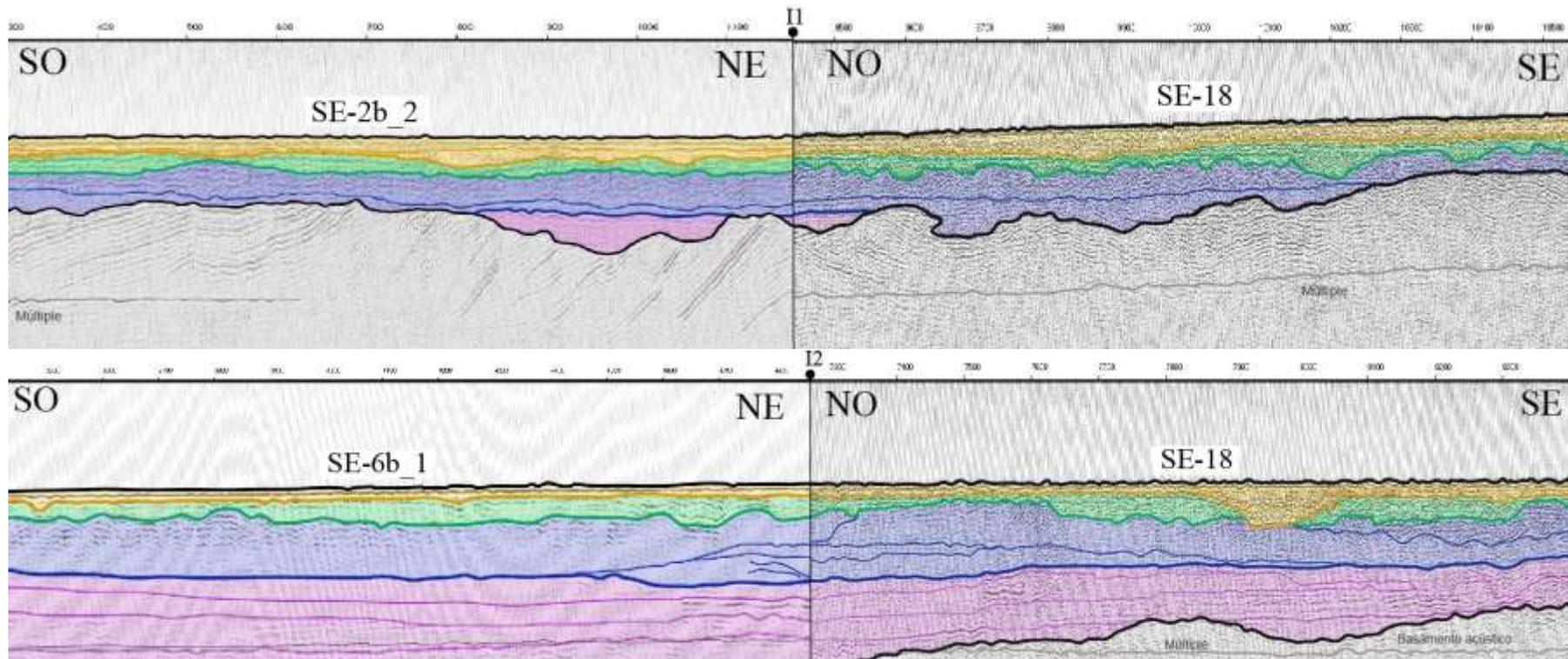


Figura 4.11 Correlaciones de las unidades de las líneas SE-2b\_2 con SE-18 y SE-6b\_1 con SE-18, junto con su ubicación en el mapa de datos de sísmica.

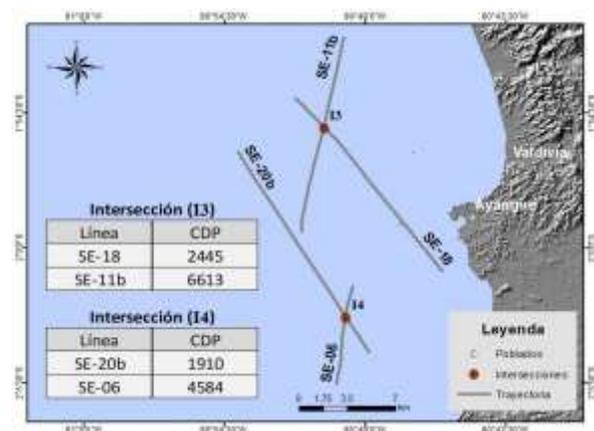
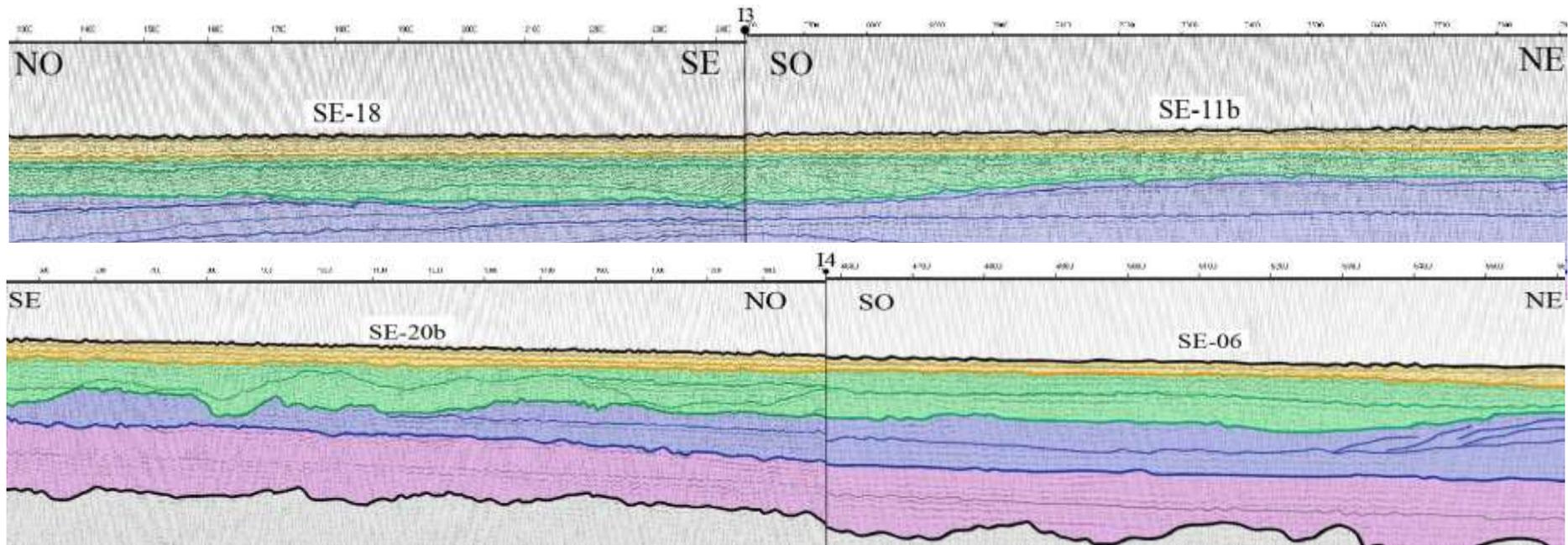


Figura 4.12 Correlaciones de las unidades de las líneas SE-18 con SE-11b y SE-20b con SE-06, junto con su ubicación en el mapa de datos de sísmica.

## 4.2 Espesores de las Unidades

En la Figura 4.13 y Figura 4.14 se visualizan los mapas de isópacos de las unidades. Cabe recalcar, que estos mapas presentan ciertas zonas de inseguridad de interpolación debidas a la ausencia de datos, no obstante, brindaron una visión general de los posibles espesores de las unidades. Es así como la Unidad I (la más antigua), muestra una mayor zona de inseguridad, debido a que el basamento no se observó en ciertas líneas, pues se estima que se encuentra a mayores profundidades.

Partiendo desde la Unidad I se observó que las zonas de mayor espesor se ubicarían hacia el NO situándose el depocentro de la cuenca en la misma dirección. Seguidamente, en el mapa de la Unidad II, se visualizó una división del depocentro hacia el SO. Luego, continuaría la división del depocentro hacia el NO y parte oeste-central donde se profundiza y, además, se obtuvieron menores espesores al este por un posible levantamiento de la cuenca de la Unidad III. Finalmente, se distinguió un mayor levantamiento en el N que recorre la cuenca hasta llegar a la parte central y sur de un relleno de cuenca y una subsidencia al SE en la Unidad IV.

Cabe resaltar, que la zona azul del Unidad IV que representa los mayores espesores, corresponde a una “elevación” que podría deberse a la presencia de una posible plataforma arrecifal. Sin embargo, con los resultados obtenidos en los mapas anteriores, se considera que el depocentro de la cuenca se ubicaría hacia el O y presentaría una posible migración.

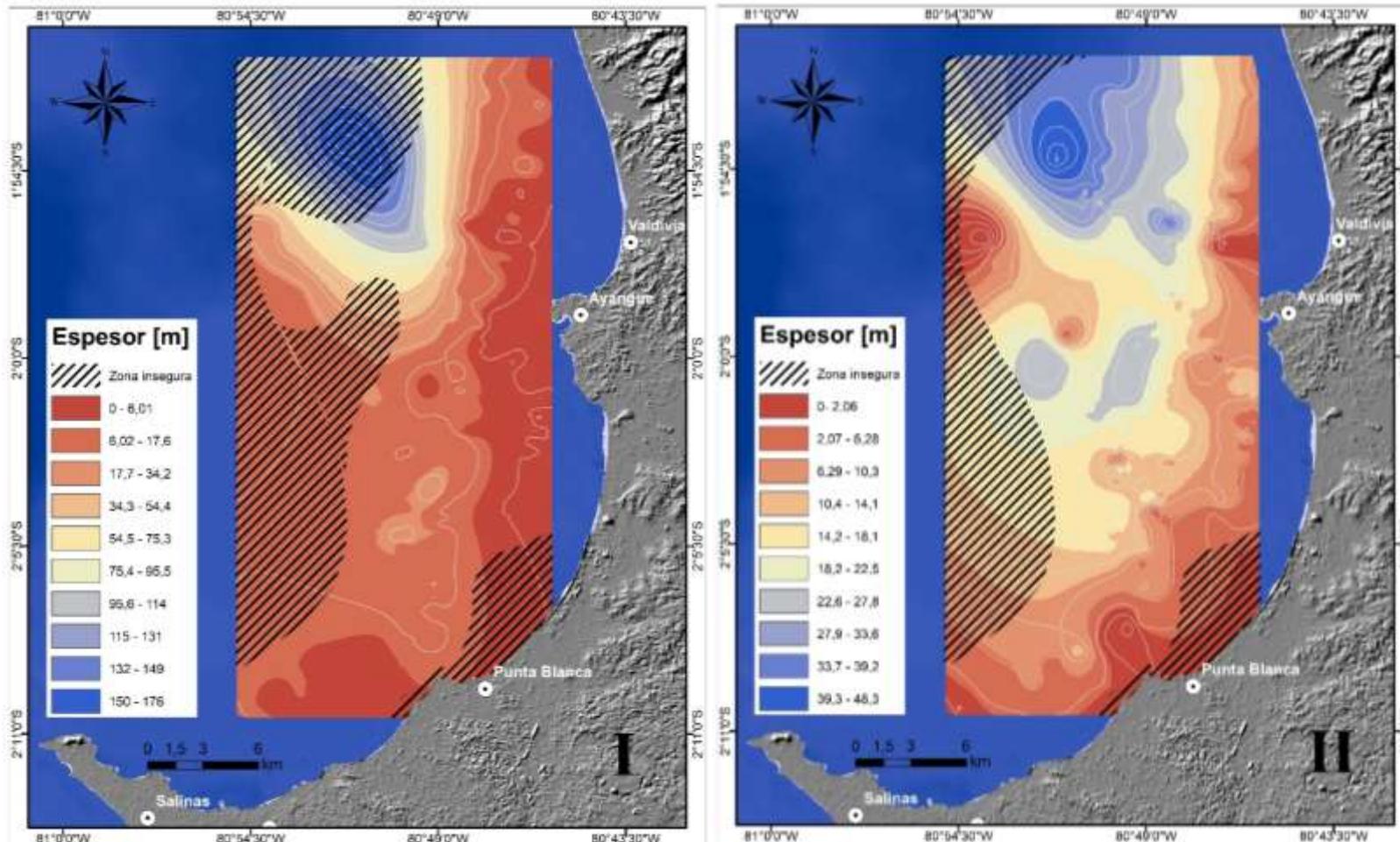


Figura 4.13 Mapas de isópacos de las Unidades I y II.

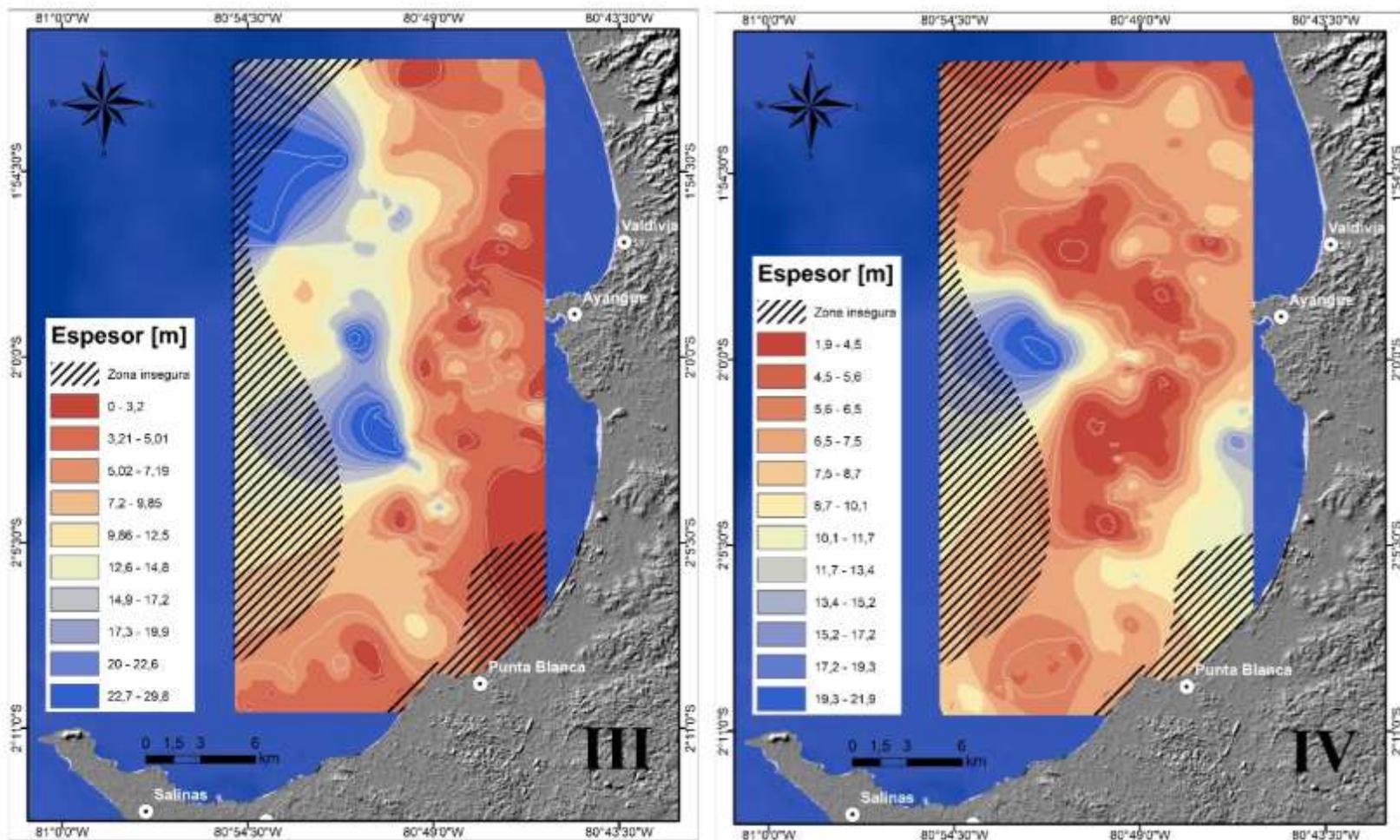


Figura 4.14 Mapas de isópacos de las Unidades III y IV.

### 4.3 Tasas de sedimentación

Las tasas de sedimentación en la plataforma se calcularon asumiendo un registro continuo de cada unidad, mostrado en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2 Tasa de sedimentación en la plataforma**

Unidad	Volumen (km <sup>3</sup> )	Espesor máx. (m)	Espesor máx. (mm)	Edad estimada (años)	Tasa de sedimentación (mm/años)
IV	8,3	16,1	16.100	9.500	1,7
III	5,8	29,8	29.800	19.500	1,5
II	8,8	48,2	48.200	35.000	1,4
I	17,9	76,7	76.700	48.000	1,6

### 4.4 Volumen de recursos pétreo

El volumen estimado de los recursos pétreos (Tabla 4.3) se obtuvo estableciendo el área de interés, mostrada en la Figura 4.15, considerado debajo de los 50 m.

**Tabla 4.3 Volumen estimado del recurso pétreo**

Área (m <sup>2</sup> )	Espesor máx. (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen (km <sup>3</sup> )
176.114.000	21,9	3.856.896.600	3,9

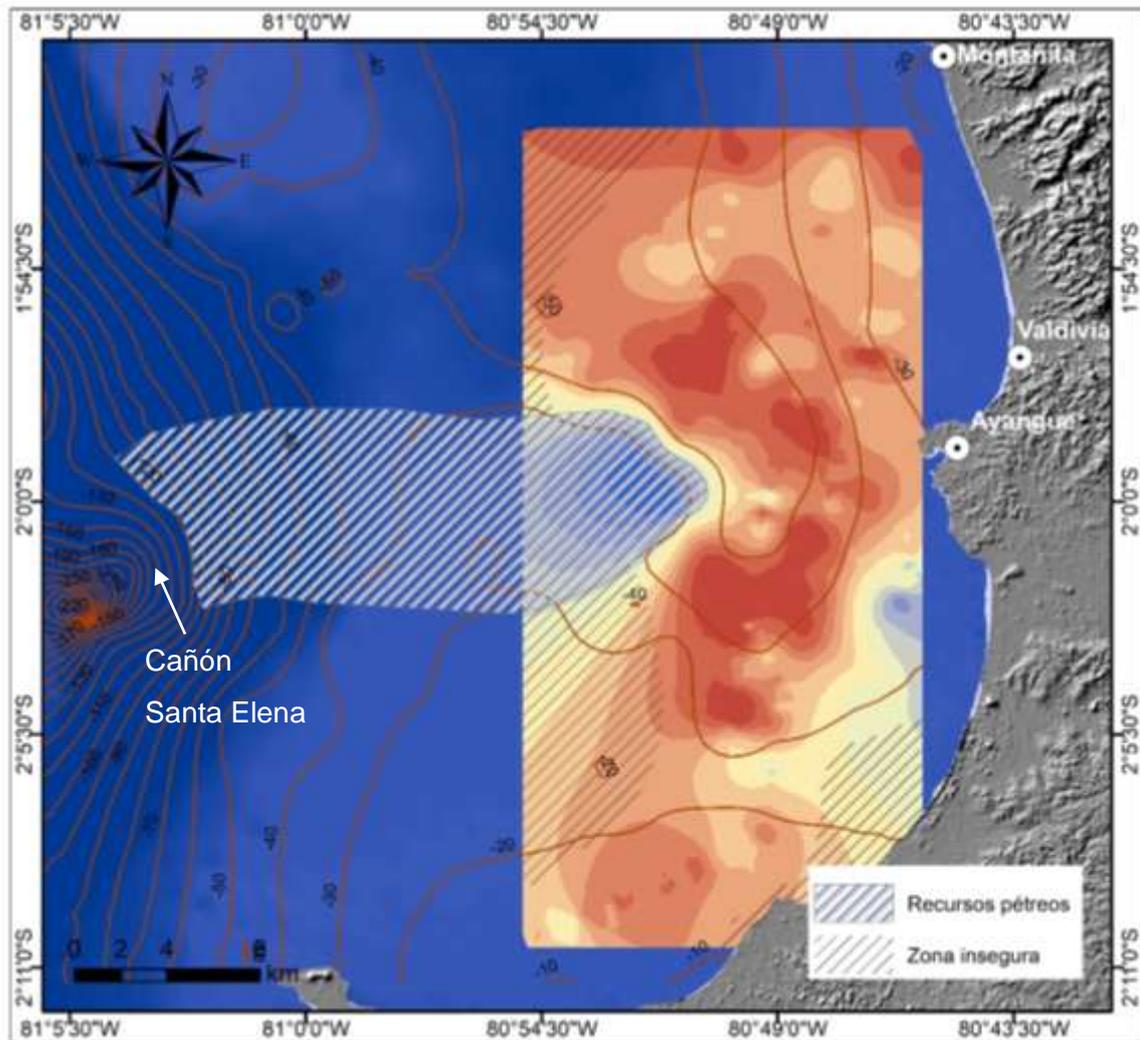


Figura 4.15 Ubicación del área de recursos pétreos potenciales.

# CAPÍTULO 5

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Unidades

La disposición general de las unidades se resume con una convergencia hacia la costa donde se considera que se erosionó la unidad más antigua (Unidad I) que se puede evidenciar en la línea sísmica SE-19 (Figura 6.3), que es paralela a la costa. Seguidamente se mostraron unidades que divergen hacia el mar presentando mayores espesores (Figura 4.7-4.9), y progradaciones hacia el NE y NO (Figura 4.6-4.8).

### 5.2 Tránsito costero

Se observó que no existe una desconexión de los paleocanales de la costa, sino más bien, se encuentran rellenos al menos al 90%, moldeando el fondo marino, producto de una posible razón eustática. Donde una vez ocurrido el último FSST provocando la formación de paleocanales, se produce un cortejo de bajo nivel (LST), iniciando una fase lenta de subida del nivel del mar, donde el aporte sedimentario debería ser mayor, relleno los depósitos. Luego, el nivel del mar aumentaría, incrementando el espacio de acomodación, por lo que su tasa de sedimentación sería menor, produciéndose un cortejo transgresivo (TST), los sedimentos se depositan en retrogradación y finalmente sobre este se deposita lo que es más reciente, un cortejo de alto nivel (HST), donde la velocidad de subida del nivel mar es menor que el aporte sedimentario, depositándose uno sobre otro de forma agradante, relleno de esta manera casi en su totalidad los paleocanales.

### **5.3 Espesores de las unidades**

Referente a los mapas de isópacos, se observó que la ubicación del depocentro muestra un relleno preferencial hacia el NO hace 48000 años, que va rellenándose hasta la actualidad. Además, se observa una subsidencia de la cuenca hacia el SE, cambiando la migración del depocentro. En la Figura 5.1 se puede observar la migración del depocentro (D) y sus cambios de espesor en la plataforma.

### **5.4 Estimación de edades**

Para la estimación de las edades de cada unidad sísmica (Tabla 4.1), se realizó la correlación de la curva eustática con las secuencias de depósitos identificadas (Figura 4.9), infiriendo que la base de la Unidad III corresponde a la última caída fuerte del nivel del mar de la última regresión forzada, ya que en este límite se identificó la mayor distribución de paleocanales, identificándose en líneas sísmicas hasta ~20 km alejados de la costa. Considerándose que para la formación de paleocanales se necesita oleaje y energía, generándose en el FSST (que es el mejor formador de la SU) y es allí donde actúa el oleaje y si existe oleaje, hay erosión formándose paleocanales.

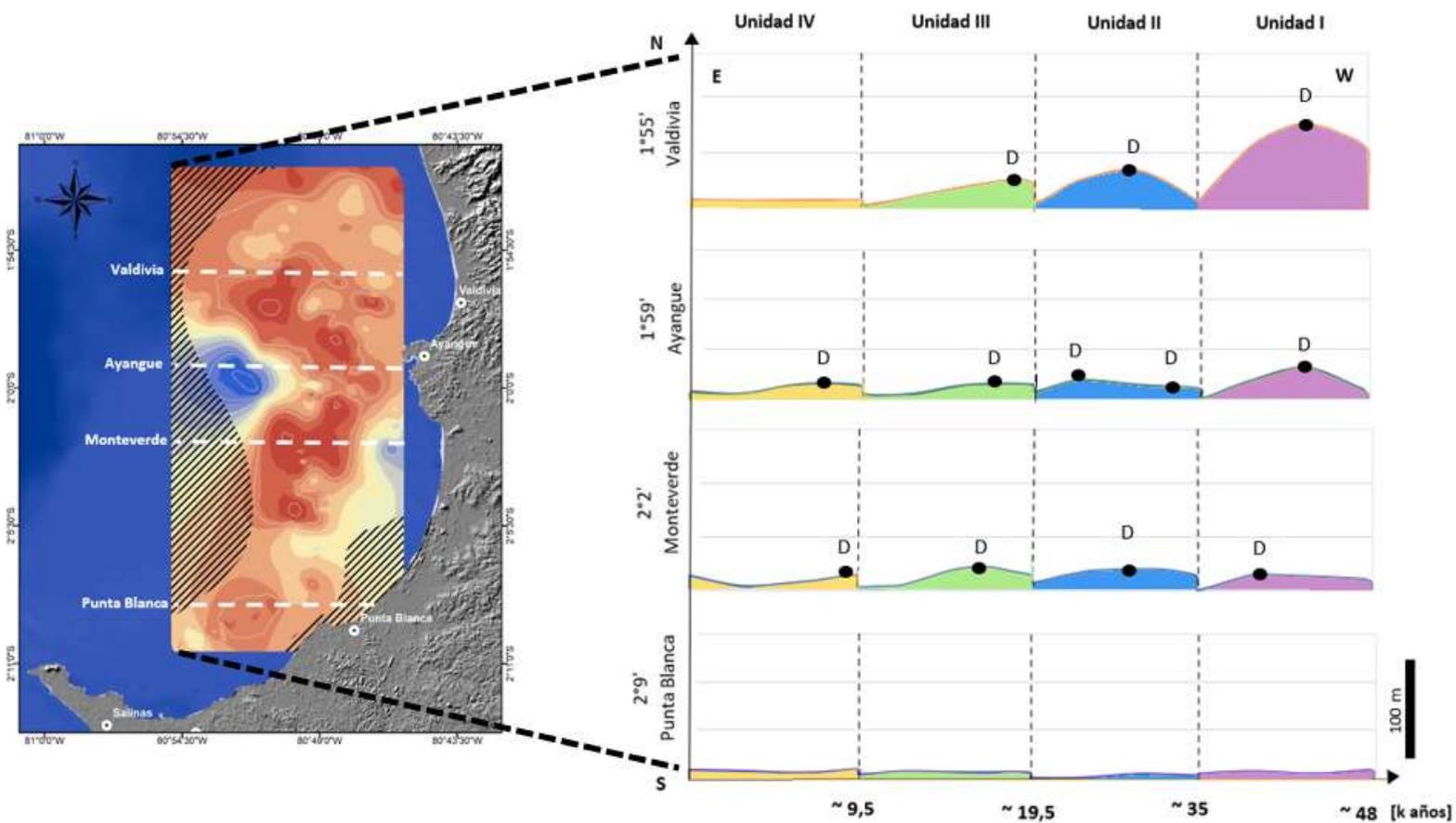
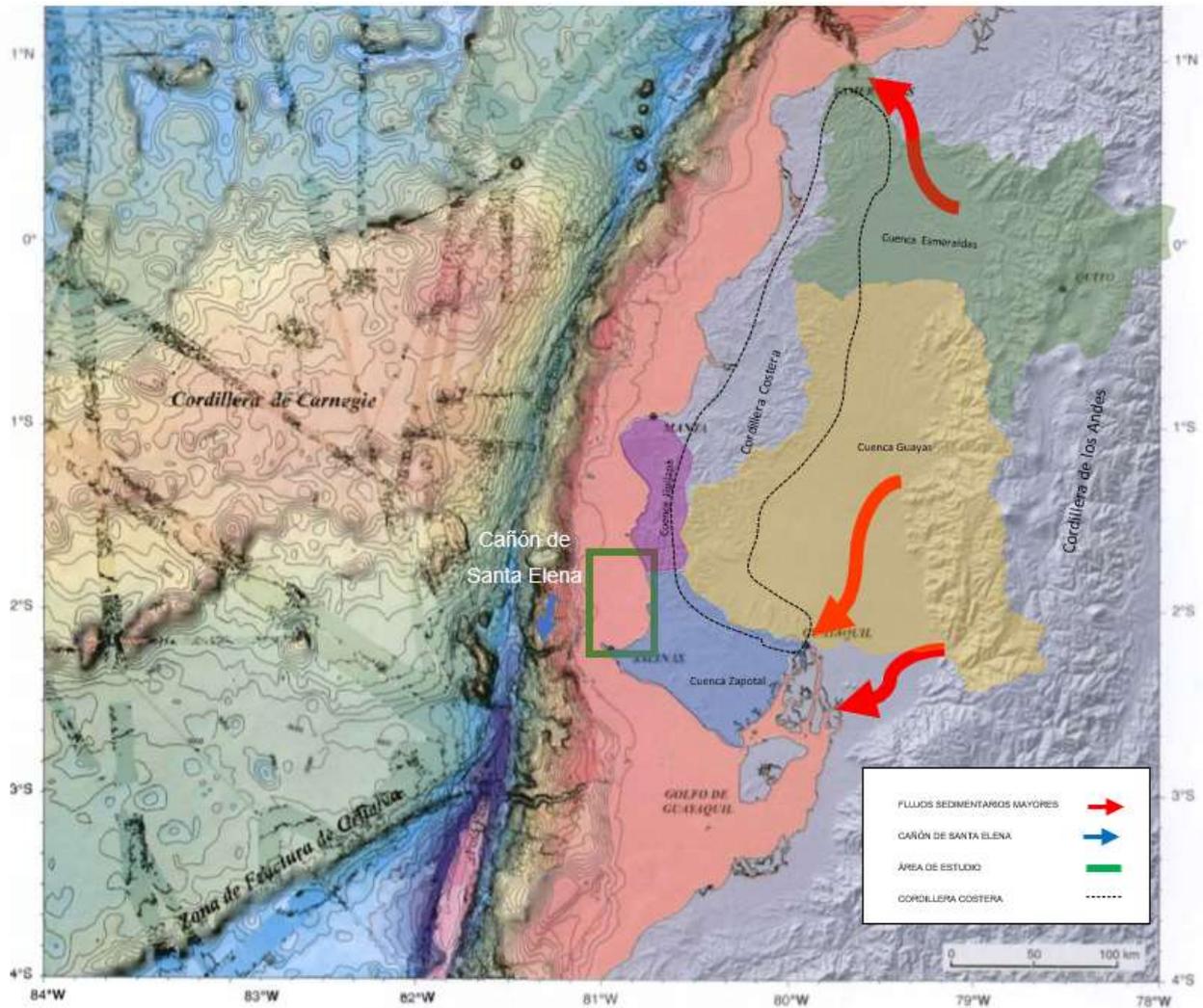


Figura 5.1 Esquema que muestra la migración del depocentro en la plataforma y acumulación de depósitos a través de cuatro cortes en los perfiles sísmicos

## 5.5 Tasas de sedimentación

Las tasas de sedimentación obtenidas corresponden a tasas sólo en la plataforma interna que van desde 1,4 mm/año a 1,7 mm/año. Para lo cual, se establece una comparación con las tasas de sedimentación del Golfo de Guayaquil y Esmeraldas. Según (Ratzov et al., 2010), la tasa de sedimentación en Esmeraldas esta entre 0,14 mm/año a 2,71 mm/año en la zona de la pendiente superior de la trinchera. Mientras que en el Golfo de Guayaquil también varía desde 8,6 mm/año en el depocentro del golfo de Guayaquil, a 3 mm/año en el depocentro del graben de Jambelí para los materiales del Pleistoceno, según (Deniaud et al., 1999).

Con esta comparación evidentemente ha existido un proceso que ha disminuido las tasas de sedimentación, ya que las tasas obtenidas en la plataforma en la zona de estudio son mucho menores. Como se muestra en la Figura 5.2, se cree que la zona de levantamiento de la Cordillera Costera Chongón Colonche impide que los sedimentos que provienen de los Andes, (principal fuente de sedimentos) lleguen a la Costa donde la distribución de estos sedimentos se dirige principalmente hacia el Norte (cuenca de Esmeraldas) y Sur (cuenca del Guayas). Y, por tanto, los sedimentos que se estarían distribuyendo en la plataforma provendrían de las microcuencas costeras de Zapotal y Jipijapa. Por lo que se cree que probablemente la desactivación del cañón de Santa Elena tendría mucho que ver con el levantamiento de la Cordillera Costera, impidiendo el acceso directo de los sedimentos de los Andes, obligando a los sedimentos a desembocar en el Golfo de Guayaquil, por lo que las tasas sedimentarias disminuirían bruscamente en esta zona.



**Figura 5.2 Análisis de la posible disminución de las tasas de sedimentación en la plataforma donde la mayor distribución de los sedimentos se desviaría hacia el N y S de la costa ecuatoriana por la presencia de la cordillera costera. Modificado de (Collot et al., 2009).**

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Como resultado de la interpretación sísmica se identificaron 4 unidades que divergen hacia al mar y muestran progradaciones en algunas de sus unidades con direcciones hacia el NE y NO. Además, se consideró como base de las unidades una SU, por la facilidad de identificar la continuidad de los reflectores.
2. El volumen potencial de recurso pétreo estimado fue de 3,9 km<sup>3</sup>, por debajo de los 50 m para que no exista la acción del oleaje y no influir en el retroceso de las playas, observándose que el área potencial se extiende hacia el cañón de Santa Elena en donde se acumularía mayor cantidad de sedimentos.
3. La Unidad III podría corresponder a la última máxima regresión de hace ~19.500 años, debido a la presencia de paleocanales hasta más de ~20 km lejos de la costa, lo que requeriría de un proceso a escala regional que cause que la zona intertidal avance hasta la plataforma interna.
4. No existe una desconexión de los paleocanales de la costa, sino que se encuentran rellenos al menos al 90%, moldeando el fondo marino por una razón eustática.
5. Se evidenció una disminución en las tasas de sedimentación en la plataforma continental con valores que varían de 1,4 – 1,7 mm/año.

## Recomendaciones

1. La antropización se puede influir en parte con la tasa de sedimentación, sin embargo, se sugiere que, para realizar un análisis de influencia antrópica, se analicen también los factores costeros como oleaje y marea y sus direcciones, sobre zonas de acumulación y erosión.
2. Las secuencias de depósitos analizadas eran superficiales y puesto que no se encontraban a grandes profundidades la compactación no sería tan alta, pero se recomienda realizar back-stripping para disminuir el margen de error en el cálculo de espesores de las unidades.
3. También, se incita a realizar una correlación con cauces fluviales y paleo-cauces para analizar su continuidad y trayectoria.
4. Finalmente, se aconseja realizar un análisis completo de las tasas de sedimentación en toda la plataforma, zonas de talud y trinchera, dado que las tasas calculadas solo corresponden a la zona de plataforma.

# BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A., Ochoa, M., & Rodríguez, M. (2013). *EXPLORACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN - MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA - COLOMBIA*.
- Baldock, J. W. (1983). Geología del Ecuador. Boletín de Explicación del Mapa geológico de la República del Ecuador. In *Dirección General de Geología y Minas*.
- Bosworth, T. O. (1923). Geology of the Tertiary and Quaternary Periods in the North-West Part of Peru. *Geographical Review*, 13(4), 636. <https://doi.org/10.2307/208174>
- Bristow, C., & Hoffstetter, R. (1977). *Lexique stratigraphique international: Amérique Latine. Ecuador:(incl. Galapagos)*.
- Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J. P., Blum, M. D., Dalrymple, R. W., Eriksson, P. G., Fielding, C. R., Fisher, W. L., Galloway, W. E., Gibling, M. R., Giles, K. A., Holbrook, J. M., Jordan, R., Kendall, C. G. S. C., Macurda, B., Martinsen, O. J., Miall, A. D., Neal, J. E., Nummedal, D., ... Winker, C. (2009). Towards the standardization of sequence stratigraphy. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 92, Issues 1–2, pp. 1–33). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.003>
- Catuneanu, Octavian. (2002). Sequence stratigraphy of clastic systems: Concepts, merits, and pitfalls. In *Journal of African Earth Sciences* (Vol. 35, Issue 1, pp. 1–43). Elsevier Ltd. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(02\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(02)00004-0)
- Catuneanu, Octavian. (2006). *Principios de la estratigrafía secuencial* (Primera Edición). <https://www.elsevier.com/books/principles-of-sequence-stratigraphy/catuneanu/978-0-444-51568-1>
- Cendrero, A., Sanchez, A., & Zazo, C. (2005). 1. *IMPACTOS SOBRE LAS ZONAS COSTERAS*. [https://www.researchgate.net/publication/265030800\\_1\\_IMPACTOS\\_SOBRE\\_LAS\\_ZONAS\\_COSTERAS](https://www.researchgate.net/publication/265030800_1_IMPACTOS_SOBRE_LAS_ZONAS_COSTERAS)
- Collot, J. Y., Michaud, F., Alvarado, A., Marcaillou, B., Sosson, M., Ratzov, G., Migeon, S., Calahorrano, A., & Pazmino, A. (2009). Visión general de la morfología submarina del margen convergente de Ecuador - Sur de Colombia: implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la Cordillera de Carnegie. In *Geología y geofísica marina y terrestre del Ecuador desde la costa continental hasta las Islas Galápagos* (pp. 47–74). <https://www.researchgate.net/publication/303325792>
- Daly, M. C. (1989). Correlations between Nazca/Farallon Plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador. *Tectonics*, 8(4), 769–790. <https://doi.org/10.1029/TC008i004p00769>
- Del Río, J., Malvárez, G., & Navas, F. (2015). *Aportes sedimentarios fluviales en el sistema litoral y su importancia para la gestión de costas: el caso de la Ensenada de Marbella*. [https://www.researchgate.net/publication/316692608\\_Aportes\\_sedimentarios\\_fluviales\\_en\\_el\\_sistema\\_litoral\\_y\\_su\\_importancia\\_para\\_la\\_gestion\\_de\\_costas\\_el\\_caso\\_de\\_la\\_Ensenada\\_de\\_Marbella](https://www.researchgate.net/publication/316692608_Aportes_sedimentarios_fluviales_en_el_sistema_litoral_y_su_importancia_para_la_gestion_de_costas_el_caso_de_la_Ensenada_de_Marbella)

- Deniaud, Y., Baby, P., Basile, C., Ordoñez, M., Montenegro, G., & Mascle, G. (1999). Ouverture et evolution tectono-sedimentaire du golfe de Guayaquil: Bassin d'avant-arc neogene et quaternaire du Sud des Andes equatoriennes. *Comptes Rendus de l'Academie de Sciences - Serie IIa: Sciences de La Terre et Des Planetes*, 328(3), 181–187. [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(99\)80094-9](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(99)80094-9)
- DeVries, T. J. (1988). The geology of late Cenozoic marine terraces (tablazos) in northwestern Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 1(2), 121–136. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(88\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0895-9811(88)90030-2)
- Duque, P. (2000). Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador. In *UCP Prodeminca*.
- Egüez, A., Gaona, M., & Albán, A. (2017). *Mapa geológico de la República del Ecuador*. Ministerio de Minería.
- Feininger, T. (1980). *La geología histórica del Cretácico y Paleogeno de la costa Ecuatoriana*. 2, 7–48.
- Gutscher, M. A., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. Y. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: Impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 168(3–4), 255–270. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(99\)00060-6](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00060-6)
- Henderson, W. G. (1979). Cretaceous to Eocene volcanic arc activity in the Andes of northern Ecuador. *Journal of the Geological Society*, 136(3), 367–378. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.136.3.0367>
- Hey, R. (1977). Tectonic evolution of the Cocos-Nazca spreading center. *Bulletin of the Geological Society of America*, 88(12). [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1977\)88<i:TEOTCS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1977)88<i:TEOTCS>2.0.CO;2)
- Homewood, P., Mauriaud, P., & Lafont, F. (2000). *Best Practices in Sequence Stratigraphy: For Explorationists and Reservoir Engineers* (Elf Ep). [http://oilcraft.io/books/Homewood – Best practices in sequence stratigraphy \(2000\).pdf](http://oilcraft.io/books/Homewood – Best practices in sequence stratigraphy (2000).pdf)
- Illidge, E., Camargo, J., & Pinto, J. (2016). Turbidites characterization from seismic stratigraphy analysis: Application to the Netherlands offshore f3 block. *Proceedings of the ...*, 41952. [http://www.searchanddiscovery.com/documents/2016/41952illidge/ndx\\_illidge.pdf](http://www.searchanddiscovery.com/documents/2016/41952illidge/ndx_illidge.pdf)
- INAMHI, I. N. de M. e H. (2012). *Cuencas Hidrograficas del Ecuador*. [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/gisweb/Historicos/HIDROLOGIA/CUENCAS\\_HIDROGRAFICAS/CUENCAS\\_INAMHI/pdf/cuencas\\_hidrograficas\\_del\\_ecuador.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/gisweb/Historicos/HIDROLOGIA/CUENCAS_HIDROGRAFICAS/CUENCAS_INAMHI/pdf/cuencas_hidrograficas_del_ecuador.pdf)
- Jaillard, E., Hérial, G., Monfret, T., Diaz-Martinez, E., Baby, P., Lavenu, A., & Dumont, J. F. (2000). Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and Northernmost Chile. In Tectonic evolution of South America. *International Geological Congress: Río de Janeiro*, 31(January), 481–559. [https://www.academia.edu/download/32386573/Jaillard\\_et\\_al\\_2000\\_-\\_Tectonic\\_evolution\\_Central\\_Andes.pdf](https://www.academia.edu/download/32386573/Jaillard_et_al_2000_-_Tectonic_evolution_Central_Andes.pdf)
- Jervey, M. T. (1988). Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression. *Sea-Level Changes: An Integrated Approach*. <https://doi.org/10.2110/pec.88.01.0047>

- Kerr, A. C., Aspden, J. A., Tarney, J., & Pilatasig, L. F. (2002). The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western Ecuador: Geochemical and tectonic constraints. *Journal of the Geological Society*, 159(5), 577–594. <https://doi.org/10.1144/0016-764901-151>
- Krause, J. C., Diesing, M., & Arlt, G. (2010). The Physical and Biological Impact of Sand Extraction: a Case Study of the Western Baltic Sea. *Journal of Coastal Research Special Issue*, 51, 215–226. <https://doi.org/10.2112/si51-020.1>
- Lino García, M., & Bermudez, H. (2018). *Impacto ambiental por la extracción de arena en el sector san Jacinto de la Parroquia Charapoto del Cantón Sucre Manabi, Ecuador*. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1074>
- Lonsdale, P. (1978). ECUADORIAN SUBDUCTION SYSTEM. *AAPG Bull*, 62(12), 2454–2477. <https://doi.org/10.1306/C1EA5526-16C9-11D7-8645000102C1865D>
- Marocco, R. (2009). *INTRODUCCIÓN A LA ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL*.
- Martillo, C. (2016). *Enregistrements Stratigraphiques des Cycles Glacio-eustatiques et de la Deformation durant le Pleistocene le long la Marge Centrale d'équateur (Exploitation des Donnees de la Campagne Atacames)*.
- Miall, A. D. (2010). The Geology of Stratigraphic Sequences. In *The Geology of Stratigraphic Sequences* (Segunda). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03380-7>
- Mitchum. (1977). *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part I, Glossary of terms used in seismic stratigraphy*. [https://www.researchgate.net/publication/230890492\\_Seismic\\_stratigraphy\\_and\\_global\\_changes\\_of\\_sea\\_level\\_Part\\_I\\_Glossary\\_of\\_terms\\_used\\_in\\_seismic\\_stratigraphy](https://www.researchgate.net/publication/230890492_Seismic_stratigraphy_and_global_changes_of_sea_level_Part_I_Glossary_of_terms_used_in_seismic_stratigraphy)
- Muthre, K. (2016). “Evolución Geodinámica de la Plataforma Continental del Ecuador entre Punta Galera y Cabo Pasado desde el Pleistoceno Medio hasta el Presente.” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- Núñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*.
- Olsson, A. A. (1942). Tertiary deposits of northwestern South America and Panama. *Proceedings: Eighth American Scientific Congress*, 231–287. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=mP7UAAAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA231&dq=Tertiary+deposits+of+northwestern+South+America+and+Panama.&ots=rcq7zysouV&sig=g5laFA47X3Y4XhT6-le8PVfRrIU>
- Pedoja, K., Ortlieb, L., Dumont, J. F., Lamothe, M., Ghaleb, B., Auclair, M., & Labrousse, B. (2006). Quaternary coastal uplift along the Talara Arc (Ecuador, Northern Peru) from new marine terrace data. *Marine Geology*, 228(1–4), 73–91. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.01.004>
- Plaza, J. (2010a, December). *Ecuador pierde 2 metros de playa cada 10 años | El Comercio*.
- Plaza, J. (2010b, December 11). *Ecuador pierde 2 metros de playa cada 10 años | El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-pierde-metros-playa-10.html>
- Posamentier, H., & Allen, G. (1999). *Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and*

- applications*. <https://www.sepm.org/files/brposamentier.ak8vxjen10zkhtzg.pdf>
- Posamentier, H. W., Allen, G. P., James, D. P., & Tesson, M. (1992). Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples, and exploration significance. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 76(11), 1687–1709. <https://doi.org/10.1306/bdff8aa6-1718-11d7-8645000102c1865d>
- Ratzov, G., Collot, J. Y., Sosson, M., & Migeon, S. (2010). Mass-transport deposits in the northern Ecuador subduction trench: Result of frontal erosion over multiple seismic cycles. *Earth and Planetary Science Letters*, 296(1–2), 89–102. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.04.048>
- Robin, C. (1997, December 15). *Mesure stratigraphique de la déformation : Application à l'évolution jurassique du Bassin de Paris*. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00675430>
- Siddall, M., Rohling, E. J., Almogi-Labin, A., Hemleben, C., Meischner, D., Schmelzer, I., & Smeed, D. A. (2003). Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature*, 423(6942), 853–858. <https://doi.org/10.1038/nature01690>
- Snedden, J. W., & Sarg, J. F. (2008). Seismic Stratigraphy - A Primer on Methodology. *Search and Discovery*, 40270.
- Soledispa, B. (2007). *CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y SEDIMENTOLÓGICAS DE LA BAHÍA DE SANTA ELENA- INOCAR*. [https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas\\_oceanograficas/acta15/OCE1501\\_13.pdf](https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta15/OCE1501_13.pdf)
- Soledispa, B. (2009). *Características geomorfológicas y sedimentológicas de la Bahía de Santa Elena* (Vol. 15). [http://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/3370/Caracter%EDsticas geomorfol%F3gicas y sedimentol%F3gicas de la Bah%EDa de Santa Elena.pdf?sequence=1](http://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/3370/Caracter%EDsticas%20geomorfol%F3gicas%20y%20sedimentol%F3gicas%20de%20la%20Bah%EDa%20de%20Santa%20Elena.pdf?sequence=1)
- Stainforth, R. M. (1948). Applied micropaleontology in coastal Ecuador. *Journal of Paleontology*, 22(2), 1–34. <https://www.jstor.org/stable/1299388>
- Yáñez, C., & Hernández, J. (2018). *Las playas de Ecuador, el otro blanco de la minería-MONGABAY*. <https://es.mongabay.com/2018/09/mineria-en-playas-de-ecuador-areas-protegidas/>

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## LÍNEAS SÍSMICAS

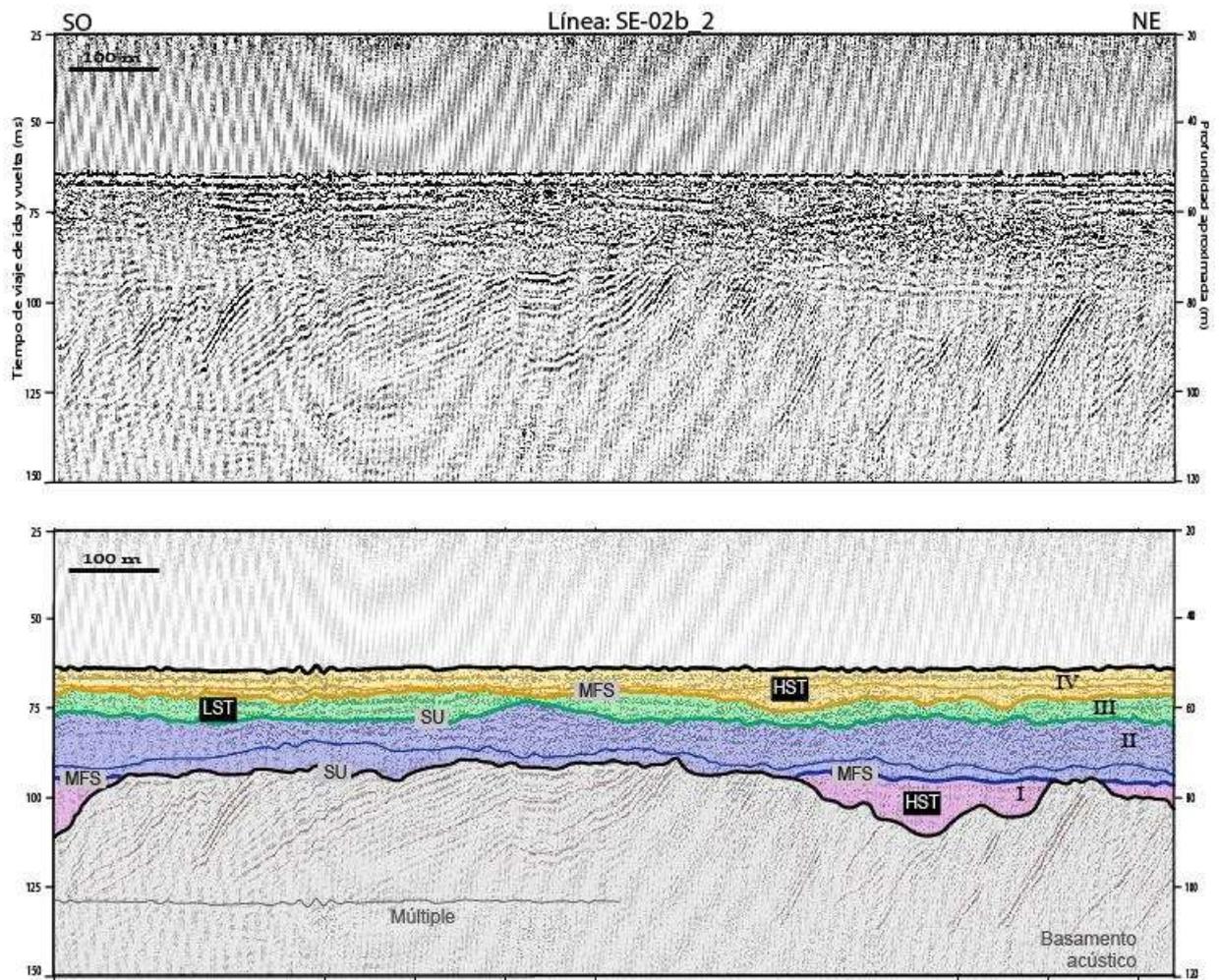


Figura 6.1 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-02B\_2.

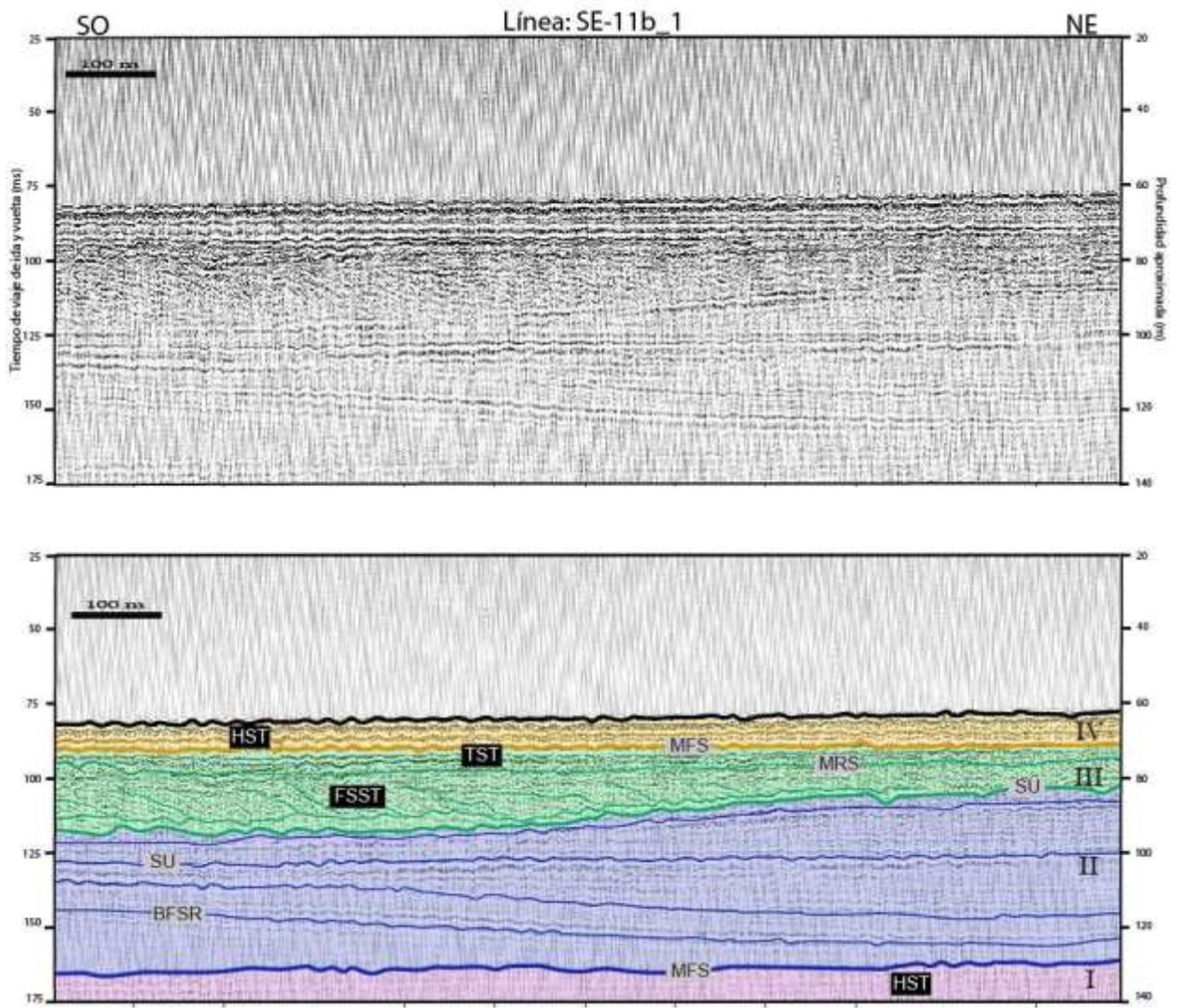
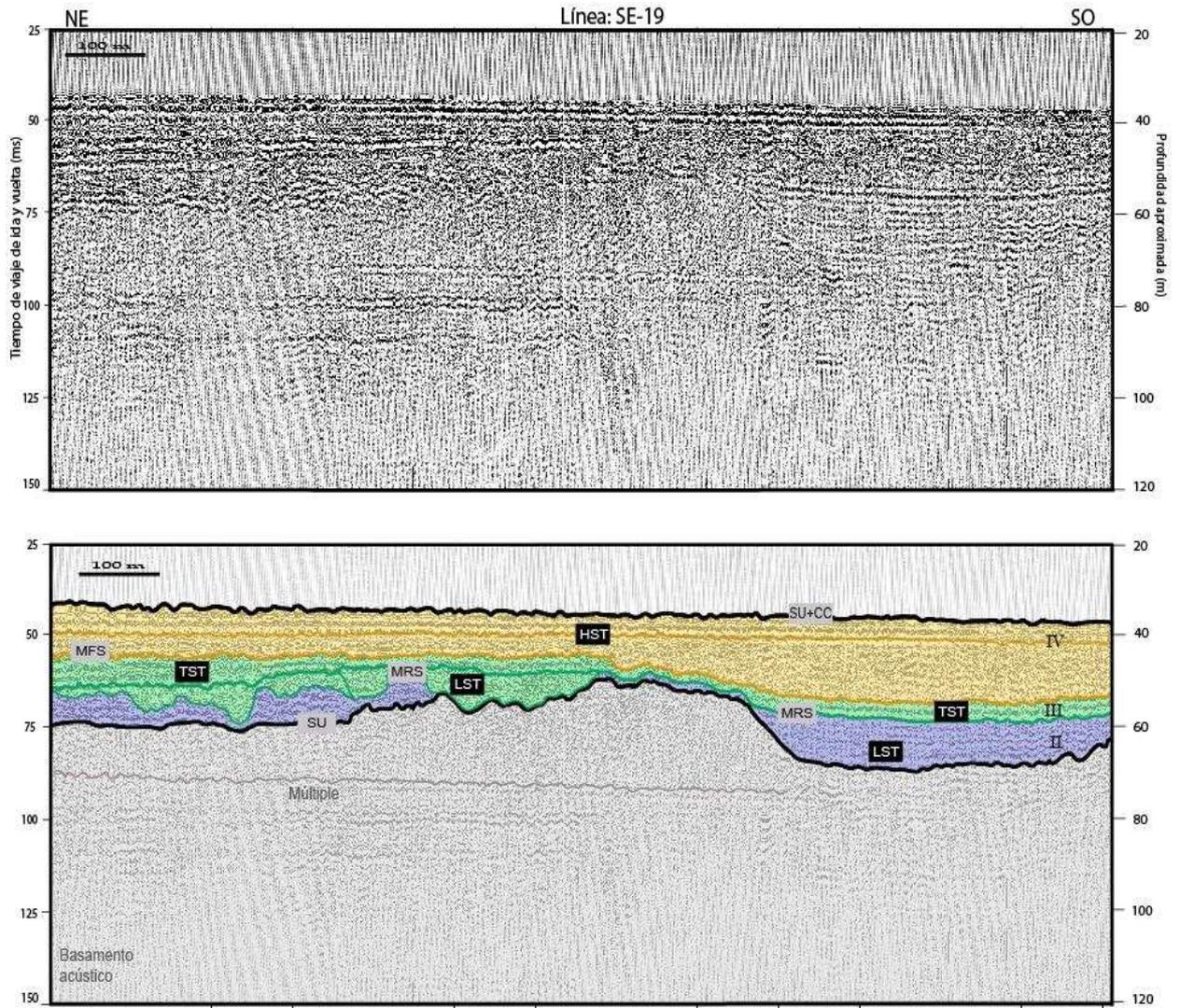
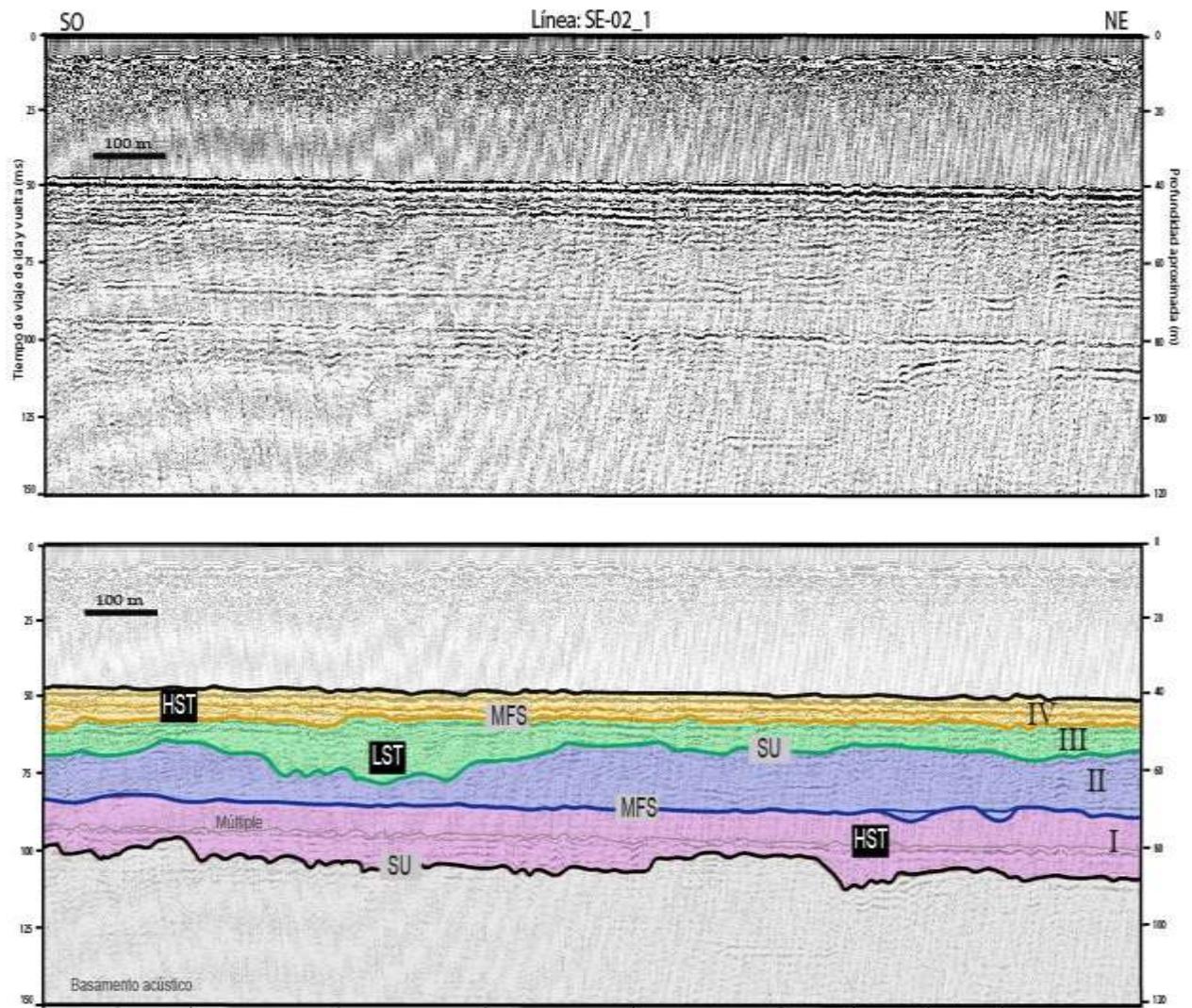


Figura 6.2 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-11b\_1.



**Figura 6.3 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-19.**



**Figura 6.4 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-02\_1.**

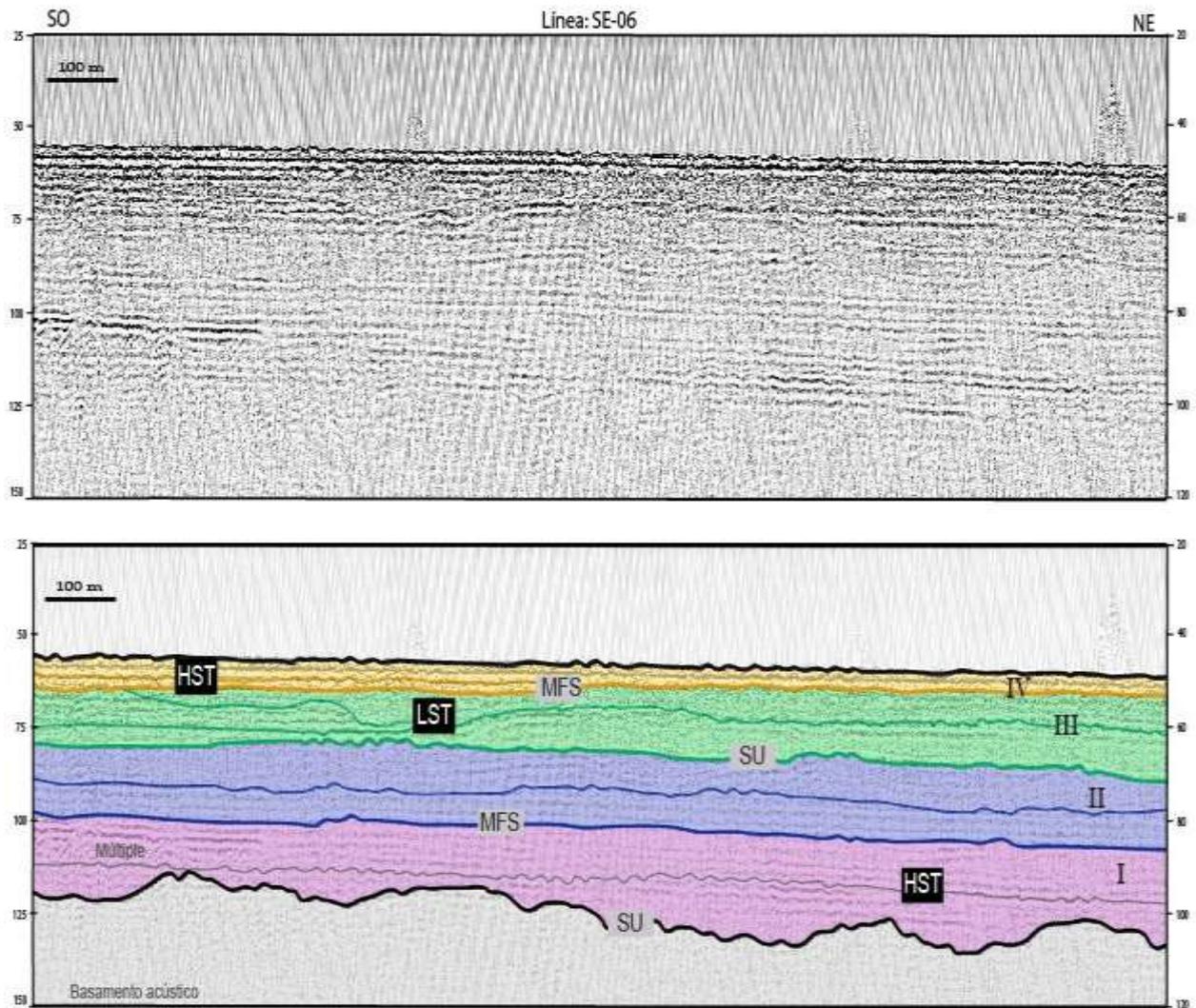
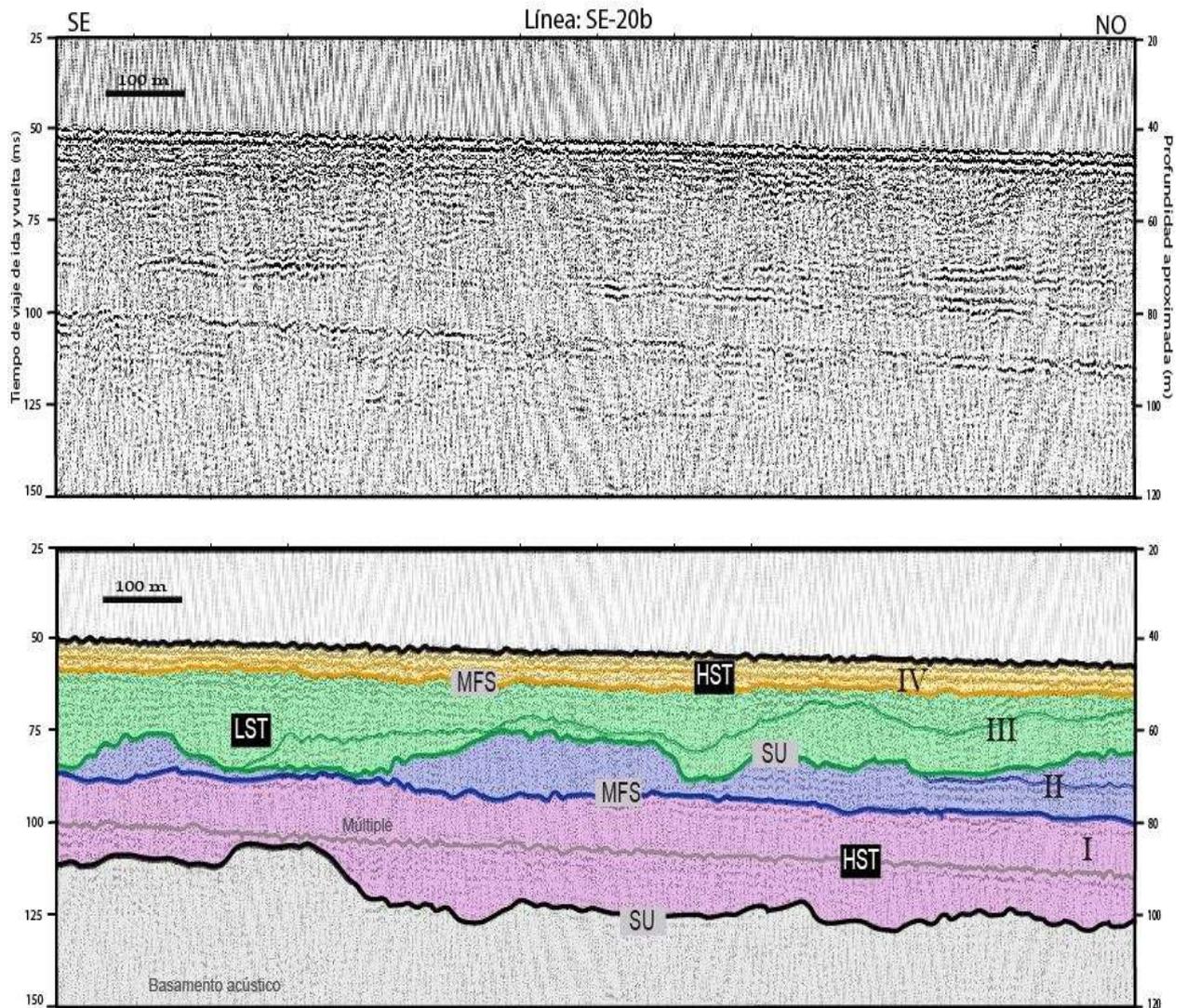


Figura 6.5 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-06.



**Figura 6.6 Superficies y cortejos sedimentarios de las unidades identificadas de la línea SE-20B.**