ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Reconstrucción Paleogeográfica de los Sedimentos Eocénicos depositados en las zonas de Ancón y Anconcito"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN GEOLOGÍA

Presentado por:

Geovanny Rodolfo Benavides Salazar

Carolina Stefany Rivas Fajardo

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios y a mi familia porque son quienes me han dado todo más allá de lo material como fuerzas, apoyo y amor, que fue lo que mayormente me motivo a terminar este camino. Agradezco también a todos mis profesores en especial al Ing. Galo Montenegro quien fue el que con mucha amabilidad nos brindó todo su apoyo y nos facilitó el acceso a gran parte de la información necesaria para realizar este trabajo y al MsC. Carlos Aizprúa quien nos ha enseñado mucho no solo en lo académico sino también en el trabajo en equipo y humano.

Geovanny Rodolfo Benavides Salazar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mis padres, quienes gracias a su apoyo y cuidado me han permitido creer que los sueños pueden ser alcanzados con esfuerzo y pasión. También le agradezco a mi hermana por estar siempre conmigo, brindarme un apoyo incondicional, escuchar todas mis historias y brindarme consejos.

Asimismo, a los amigos que realice durante mi estadía universitaria con quienes forme innumerables recuerdos en los cuales reímos y lloramos aprendiendo siempre algo nuevo.

A mis profesores que me han guiado durante mi carrera universitario, al Msc. Carlos Aizprúa y al Ing. Galo Montenegro por haberme brindado la oportunidad no solo de formar parte de este proyecto, sino de ser su alumna y haber tenido la oportunidad de

conocer personas tan humildes y con una disponibilidad de ayudar.

Carolina Stefany Rivas Fajardo

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos quienes me ayudaron siempre haciendo un gran esfuerzo en lo económico y espiritual.

Geovanny Rodolfo Benavides Salazar

DEDICATORIA

A mi familia, amigos y especialmente a mi mamá quien siempre me ha brindado sus sabios consejos para alcanzar mis metas sin importar lo difíciles que sean.

Carolina Stefany Rivas Fajardo

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Carlos Martillo
PRESIDENTE

MSc. Carlos Aizprúa
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Galo Montenegro
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

Geovanny Rodolfo Benavides Salazar

Carolina Stefany Rivas Fajardo

RESUMEN

Un estudio sedimentológico de las secuencias observadas en la zona de los acantilados entre Ancón y Anconcito dentro de la cuenca Santa Elena revelan que estas secuencias datadas por métodos bioestratigráficos corresponden al Eoceno Medio (Ordoñez et al., 2006) y pertenecen al Grupo Ancón. Los datos de campo han permitido diferenciar 9 litofacies: FG1 (Facies caóticas – flujos cohesivos de debris) Estas facies podrían estar relacionados a *sandy debris flows* o flujos de alta densidad. FG2 (Facies de Slump) relacionados a flujos de alta densidad posiblemente por deslizamientos submarinos. FG3 (Facies de areniscas de grano grueso a muy grueso) relacionados a flujos de alta densidad por transporte de flujos hiperpícnicos. FG4 (Facies de areniscas de grano medio a gruesa y areniscas finas con limolitas y carbón) relacionadas a flujos de alta a baja densidad. FG5 (Facies de areniscas finas limosas) relacionadas a flujos de baja densidad que podrían corresponder a depósitos de inter-canal. FG6 (Limolita arcillosa), estas facies pueden estar relacionadas a zonas de bypass o no depositación correlacionables con secuencias de la formación seca. FG7 (Areniscas turbidíticas Tcd) comúnmente asociadas a levees distales. FG8 (Areniscas turbidíticas Tabcd y turbiditas finas dominadas por estratificación cruzada) que podrían estar relacionadas a levees proximales o zonas de *overbank*. FG9 (Areniscas turbidíticas Tbc, Tc), esta facies se

relaciona a fases finales de relleno de canal o facies de levee. En vista regional se identificaron en sísmica dos estructuras submarinas principales que por su geometría en sísmica y facies sedimentaria en campo: el uno de ellos ubicado en Anconcito se relaciona a un cañón submarino con gran cantidad de material retrabajado como conchas, icnofósiles y carbón, mientras que para la zona de Ancón se evidencian gran cantidad de material fino y la presencia de material retrabajado solo se observan dentro de facies de canalizaciones y se interpretan estas facies como secuencias confinadas de relleno de microcuenca. En los bordes de los acantilados se diferenciaron facies sedimentarias que se asociaron a un determinado elemento arquitectónico que a priori fueron plasmados en columnas estratigráficas para su interpretación. A pesar de la complejidad estructural y estratigráfica en la zona de estudio, se han podido diferenciar 6 elementos arquitectónicos principalmente: Movimientos de transporte en masa (MTD), Relleno de Canal, Levees Proximales y Levee Distales, depósitos de desbordamiento (*Overbank*) y zonas de no depositación o (*Bypass*) que se asocian a un modelo final desarrollado en el presente estudio. En un análisis regional se determinó que estas facies fueron depositadas en un ambiente de talud dominado por facies de relleno de cañón submarino y facies de relleno de microcuencas confinadas.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN..... VIII

ABREVIATURAS IV

SIMBOLOGÍA V

CAPÍTULO 1 1

1. INTRODUCCIÓN.....1

1.1. Planteamiento del Problema 3

1.2. Objetivos 4

CAPÍTULO 2 6

2. MARCO GEOLÓGICO 6

2.1. Geología Regional.....6

2.2. Geología local 10

CAPÍTULO 3 17

3. DATOS Y METODOLOGÍA.....17

3.1. Configuración de Datos 17

3.2. Metodología 19

CAPITULO 4 23

4. RESULTADOS.....23

4.1. Facies Sedimentarias.....23

4.2. Interpretación Sísmica.....32

CAPÍTULO 5 41

5. DISCUSIÓN 41

5.1. Asociación de Facies 41

5.2. Bioestratigrafía.....60

5.3. Modelo de Depositación.....66

5.4. Análisis Regional.....75

CAPÍTULO 6 79

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....79

6.1. Conclusiones.....79

6.2. Recomendaciones.....82

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

FG8	Areniscas turbidíticas Tabcd y dominadas por estratificación
FG9	Areniscas turbidíticas Tbc-Tc
FG7	Areniscas turbidíticas Tcd cruzada
Cm	Centímetros
CCC	Cordillera Chongón Colonche
2D	Dos dimensiones
Sp.	Especie
ESE	Este sureste
ENE	Este noreste
FG1	Facies caóticas
FG2	Facies contorsionadas
FG3	Facies de areniscas de grano grueso a muy grueso
FG4	Facies de areniscas de grano medio a gruesa y areniscas finas con limolitas y carbón
FG5	Facies de areniscas finas limosas
Fm	Formación
H7	Horizonte 7
Km	Kilómetros
Y	latitud en coordenadas proyectadas
FG6	Limolita arcillosa
X	longitud en coordenadas proyectadas
MTD	Mass transport deposit
Máx	Máximo
Mm	Milímetros
Ma	Millones de años
NNE	Nornoreste
NO	Noroeste
N	Norte
ONO	Oeste noroeste
OSO	Oeste suroeste
S7	Secuencia 7
SO	Sur oeste

SIMBOLOGÍA

~	Aproximadamente
/	Cada
°	Grados
%	Porciento

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Unidades sedimentarias de la costa ecuatoriana. 16

Figura 3.1 Metodología aplicada en el estudio presenta constituido por cinco etapas.....19

Figura 4.1 Facies sedimentarias 1 27

Figura 4.2 Facies sedimentarias 2 32

Figura 4.3 Linea sismica interpretada - Línea 1.. 39

Figura 4.4 Linea sismica interpretada - Línea 2. Segunda línea sísmica.....40

Figura 5.1 Sedimentos contorsionados de gran dimensión debido a flujos gravitacionales.....43

Figura 5.2 Flujo de detritos ricos en arena: a) estructuras de alfombras de tracción.....48

Figura 5.3 Relleno de canal por facies turbidíticas.....51

Figura 5.4 Secuencias relacionadas a levees distales debido a su predominancia de limolitas 54

Figura 5.5 Levees proximales constituidos mayoritariamente de areniscas turbidíticas…….
55

Figura 5.6 Depósitos de bypass.....58

Figura 5.7 Icnofacies encontrados en sedimentitas de la Formación Punta Ancón 65

Figura 5.8 Modelo Paleogeográfico propuesto para el área de Anconcito – Cañon Submarino.....67

Figura 5.9 Modelo Paleogeográfico propuesto para el área de Ancón– Relleno de Cuenca Confinada. 71

Figura 5.10 Interpretación sísmica en tiempo de línea representativa de cuenca confinada.....72

Figura 5.11 Modelo conjunto del sistema Cañón - Cuenca para el área de estudio. 74

Figura 5.12 Diagrama conceptual de facies sedimentarias para una configuración Fosa-Talud. 76

Figura 5.13 Modelo regional propuesto para los depósitos del Grupo Ancón - Eoceno. 77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Localización de puntos donde aflora flujos detríticos lodosos. 45

Tabla II. Localización de puntos donde aflora flujos detríticos arenosos. 47

Tabla III. Orientación de direcciones de paleocorrientes. 56

Tabla V. Dataciones radiométricas. 60

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa I. Mapa geológico regional. 7

Mapa II. Ubicación de datos usados en el estudio. 18

Mapa III. Mapa en tiempo correspondiente al Eoceno Medio. 33

Mapa IV Asociaciones sedimentarias identificadas en el campo y direcciones de paleocorrientes 60

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca progreso está comprendida entre la costa sur del Ecuador y norte de Perú con un área de aproximadamente 47.000 Km^2. El presente estudio se centra en la cuenca de Santa Elena perteneciente a la provincia del mismo nombre entre los acantilados de Ancón y Anconcito (Mapa II). En la zona se evidencia sedimentos que han sido datados del Eoceno Medio entre el Lutetiense al Bartoniense (41 - 48 Ma) (Aguilar et al., 2009) donde se han definido las formaciones de Clay Pebble Beds, Seca, Socorro y Punta Ancón.

La principal importancia de la cuenca progreso radica en su contenido hidrocarburífero, por esta razón es muy valioso tener un entendimiento pleno del comportamiento de la cuenca y de su evolución a lo largo del tiempo. Como consecuencia de esto, autores como (Benitez, 1995); (Sheppard, 1937); (Merchant, 1956); (Jaillard et al., 1995); (Montenegro & Loor, 1988) entre otros, han realizado estudios para mejorar la comprensión de esta cuenca. En el presente trabajo se busca realizar una interpretación a los sedimentos eocénicos depositados entre los acantilados de Ancón y

Anconcito con la finalidad de proponer un modelo depositacional para el área de estudio que pueda servir como base para futuras exploraciones.

A partir de los datos de campo y columnas estratigráficas se han clasificado las secuencias eocénicas de los acantilados entre Ancón y Anconcito en 9 facies sedimentarias FG1 (Facies caóticas – flujos cohesivos de debris). FG2 (Facies de Slump). FG3 (Facies de areniscas de grano grueso a muy grueso). FG4 (Facies de areniscas de grano medio a gruesa y areniscas finas con limolitas y carbón). FG5 (Facies de areniscas finas limosas). FG6 (Limolita arcillosa). FG7 (Areniscas turbidíticas Tcd). FG8 (Areniscas turbidíticas Tabcd y turbiditas finas dominadas por estratificación cruzada). FG9 (Areniscas turbidíticas Tbc, Tc).

Estudios de sonares (Pirmez, 1995) han permitido avances significativos en el entendimiento de la geomorfología submarina en zonas marino profundo y sus características estructurales observadas han permitido identificar elementos arquitectónicos submarinos tales como los descritos en este estudio. Los elementos arquitectónicos son parte de la geomorfología submarina, los cuales fueron interpretados a partir de datos de campo principalmente, orientación de estratos, datos de paleocorrientes, sísmica 2D, donde se establecieron dichos elementos por su relación a otros estudios realizados en cuencas similares como la cuenca Sishoku Japón, Cuenca Sierras Peninsulares (Peninsular Ranges); Baja California, México, entre

otras; y además se ha relacionado los elementos arquitectónicos interpretados, con las formaciones del Grupo Ancón. Dentro de un marco regional se han diferenciado dos macroestructuras sísmicas que han sido interpretadas como facies de rellenos de cañón submarino para las secuencias depositados en la zona de Anconcito y facies de relleno de cuenca confinada para la zona de Ancón.

1.1. Planteamiento del Problema

Diversos geólogos e investigadores han reconocido las formaciones Clay Pebble Beds, Socorro, Seca y Punta Ancón como parte del Grupo Ancón, además estas formaciones han sido interpretadas como unidades litotectónicas incluidas dentro del “complejo olistostrómico de Santa Elena” (Canfield, 1966). Otros autores como (Aguilar et. al., 2005) interpretan estas secuencias como facies de talud para la unidad Clay Pebble Beds, zona de Abanico submarino para la Formación Socorro, Sistema encadenado de cuña de bajo nivel para la formación Seca y la Fm Punta Ancón como facies de llenado de cuenca, pero no se ha realizado una interpretación conjunta de las secuencias depositadas durante el Eoceno Medio y que pertenecen al Grupo Ancón. El presente trabajo busca realizar una interpretación sistemática para los sedimentos Eocénicos de la Cuenca progreso en el área de Ancón - Anconcito, para lo cual se pretende realizar un modelo paleogeográfico a partir de datos de campo, sísmica 2D y datos bibliográficos, con la finalidad

de proponer una interpretación integral para los sedimentos depositados en la península de Santa Elena, ya que a criterio de los autores las interpretaciones anteriores realizadas no están sistematizadas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un modelo de depositación para los sedimentos eocénicos localizados en los acantilados entre Ancón y Anconcito a partir de datos de campo y sísmica 2D con el fin de proponer un ambiente de depositación y establecer una relación con las formaciones del grupo Ancón.

1.2.2. Objetivos Específicos

a) Describir y analizar facies sedimentarias de acuerdo a su litología y estructuras sedimentarias tomando en cuenta sus procesos de depositación.

b) Realizar columnas estratigráficas para identificar los cambios verticales de facies e identificar la evolución temporal de los distintos ambientes sedimentarios.

c) Interpretar líneas sísmicas cercanas al área de estudio para definir la paleotopografía y como está influye en la depositación.

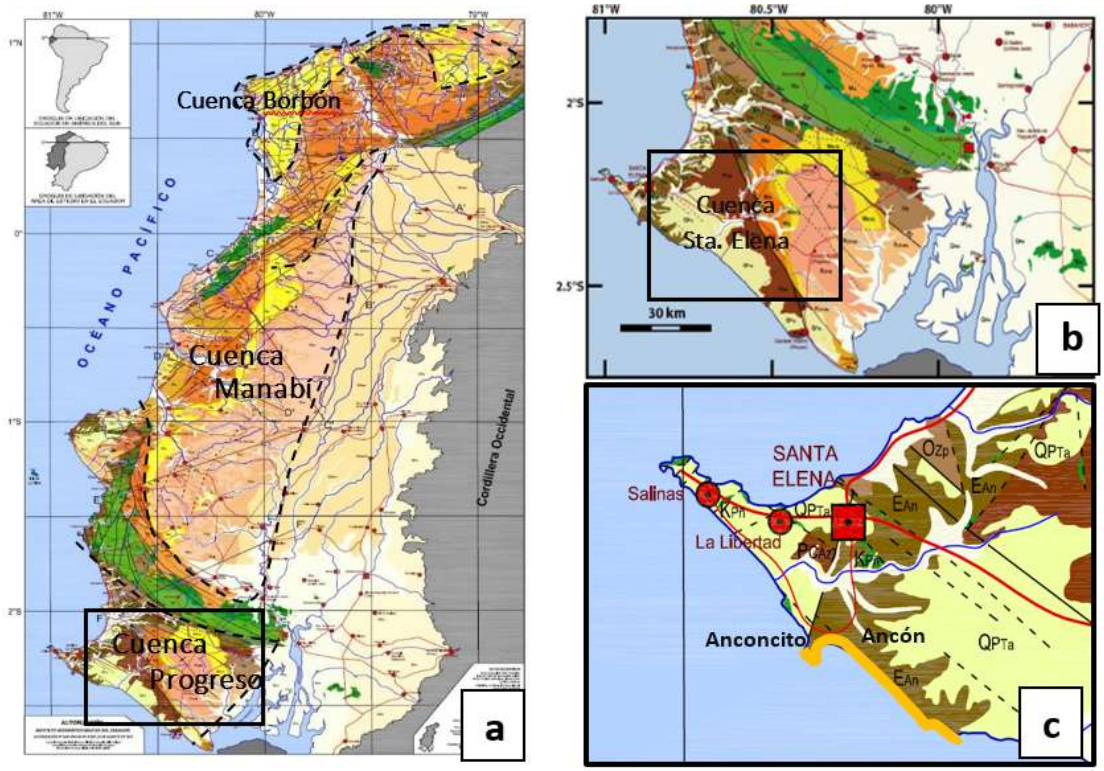
CAPÍTULO 2

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Geología Regional

El Ecuador, localizado en el NO de Sudamérica, se encuentra afectado por una rápida convergencia (~6 – 7 cm/año) de la placa de Nazca sobre la Sudamericana (N80°).

Actualmente la fosa o trinchera ecuatoriana presenta profundidades que van desde los 3km en la Cordillera de Carnegie hasta los 5km en la frontera con Perú y muestra pendientes promedio en su talud entre los 4° y 5° (Benitez, 1995). La presencia del sistema fosa - arco volcánico en el margen occidental de Sudamérica desde el Mesozoico ha formado cuencas de ante arco cenozoicas desde Venezuela hasta Chile. En Ecuador, al norte de la Cordillera Chongón Colonche (CCC) se formaron las cuencas de Borbón y Manabí; y por debajo de la CCC se localiza la cuenca Progreso que se extiende hasta la cordillera de los Amotapes y está caracterizada por potentes sedimentos paleocénicos con un desarrollo de subsidencia profunda durante el Neógeno (Mapa I).



Mapa I. Mapa geológico regional.
Fuente: Reyes (2013)

Estas cuencas ecuatorianas están rellenas de depósitos alóctonos de origen oceánico que se han acrecionado desde el cretácico tardío. Principalmente se denotan tres fases de depositación relacionados a eventos tectono – sedimentarios: a) Cuenca marginal; b) Acreción y Desarrollo de Cuenca de Antearco; y c) Nueva Cuenca de Antearco (Jaillard et al., 1995).

2.1.1. Fase de Cuenca Marginal

Desde el Cretácico Tardío hasta el Paleoceno Medio la depositación empezó por terrenos acrecionados formados por corteza oceánica en el Aptiano –

Albiano el cual constituye el basamento actual de la costa ecuatoriana; aquellos fueron cubiertos por sedimentos pelágicos (Cenomaniano), turbiditas volcano clásticas (Santoniano) y lutitas tobáceas (Maastrichtiano) vinculados a una fuente máfica debido a la ausencia de detritos ricos en cuarzo.

La granodecrecencia de estas secuencias en la Cuenca Progreso corresponde a una disminución de la actividad del arco de isla Cayo que bordeaba la cuenca; en contraste, un aumento de actividad tectónica en el Campaniano Tardío en la Cuenca de Manabí es evidenciado debido a la creación del nuevo arco de isla San Lorenzo. Estas secuencias tratan de un relleno de Cuenca Marginal que se formó debido a la apertura entre el arco de Cayo y San Lorenzo (Jaillard et al., 1995).

2.1.2. Fase de Acreción y Desarrollo Cuenca de Antearco

Durante el Paleoceno Tardío al Eoceno Tardío se genera la acreción y desarrollo temprano de la cuenca de antearco, la cual fue marcada por cambios drásticos en su paleogeografía debido a la tectónica. La existencia de detritos félsicos y máficos en turbiditas paleocénicas indican que áreas volcánicas fueron altamente deformadas y erosionadas; además de ser afectadas por subsidencia tectónica que ocasionó grandes espacios de acomodación (Jaillard et al., 1995).

Como consecuencia de la colisión del arco remanente Cayo con la margen continental se marcó una evolución de cuenca marginal a una formación de cuenca de ante arco. La somerización hacia el final del Paleoceno Tardío representa el relleno de la primera cuenca de ante arco (Jaillard et al., 1995).

Debido a procesos extensionales se desarrolló una transgresión lutetiana justificada por la disminución de estructuras contorsionadas hacia el tope; esta extensión fue seguida por una compresión que marcó una nueva etapa de subsidencia de cuenca de ante arco. Durante el Eoceno Medio y Eoceno Tardío se depositaron sedimentos someros con una tendencia granocreciente. El cambio de sedimentos volcano clásticos (Cretácico y Paleoceno) a sedimentos clásticos fue debido a la colisión (compresión WNW-ESE) definitiva de la costa ecuatoriana con el margen continental, además esta colisión provocó una rotación entre 20° – 50° en sentido de las agujas del reloj (Aguilar et al., 2005). Este periodo termina con un hiato que comprende mayormente el Oligoceno.

2.1.3. Nueva Cuenca de Ante Arco

Finalmente, durante el Oligoceno Tardío y Mioceno se desarrollaron varias cuencas rellenadas por areniscas finas marino someras y lutitas. La creación de estas cuencas neógenas de ante arco están vinculadas a la apertura del golfo de Guayaquil (Jaillard et al., 1995).

Estas tres fases tectono-sedimentarias son las más importantes en la costa ecuatoriana ya que explican la acreción progresiva de los sedimentos con la margen continental.

2.2. Geología local

Las secuencias localizadas en la Península de Santa Elena han sido depositadas en aguas profundas mediante procesos turbidíticos y flujos de masa transportados.

2.2.1. Basamento

Aunque no afloren sedimentos del basamento en el alto de Santa Elena, anomalías de Bouguer similares al del basamento de la CCC sugieren un posible basamento con características similares al de la formación Piñón (Ordoñez et al., 2006).

2.2.2. Formación Santa Elena

Aflora al oeste de la Península de Santa Elena y es considerado como equivalente a la formación Guayaquil. Debido a su alta alteración, metamorfismo ligero y deformación intensa cualquier análisis sedimentológico o estimación de potencia es pobremente preciso. Su

deformación abarca ejes de plegamientos ENE-OSO a ONO-ESE con un incremento de deformación hacia el SO (Jaillard et al., 1995).

Según Sheppard (1937) ésta formación está compuesta de chert blanco o grisáceo intercalado con lutitas verdes, grises, blancas y silíceas. Su ambiente de depositación es de tipo marino profundo y de edad Cretácico Tardío, piso Mastrichtiano, alcanzando el Paleoceno en su tope (Ordoñez et al., 2006).

2.2.3. Grupo azúcar

Aflora en los Cerros Azúcar, Chanduy, Estancia y Saya con una potencia máxima de 2750m. Estratigráficamente yace sobre la formación Santa Elena y se encuentra por debajo del grupo Ancón, ambos contactos presentan una discordancia angular. Se subdivide este grupo en tres formaciones, sin embargo, según Benítez (1995) el término “formación” estaría mal empleado y se utiliza el nombre de facie sedimentaria para su clasificación:

a) Facie Estancia: Constituida por areniscas grises micáceas de coloración rojiza intercaladas con niveles de guijarros que pueden alternarse con lutitas negras duras y capas de arenisca micácea con material carbonoso.

b) Facie Chanduy: Siendo su localidad tipo el cerro de Chanduy, litológicamente está compuesta de areniscas silíceas, conglomerados de cuarcitas y alternancia entre areniscas y conglomerados finalizando con lutitas hacia el tope.

c) Facie Engabao: Esta facie presenta concreciones en areniscas masivas, pueden estar intercaladas con lutitas y alcanzar potencias máximas de 300m. Su localidad tipo es el Cerro Chanduy.

La paleocorriente indica una dirección N – NNE con direcciones secundarias hacia el NO y según sus microfósiles son asignadas al Paleoceno, pisos Daniano Superior – Thanetiano superior. Por medio de paleontología está vinculado a un ambiente de depositación marino profundo de profundidad entre los 2000 y 3000m (Ordoñez et al., 2006).

2.2.4. Grupo Ancón

Aflora en los acantilados de Ancón y trata de rocas silisiclásticas de edad eoceno constituido por cuatro formaciones (Figura 2.1).

2.2.4.1. Formación Clay pebble beds

Descrito como flujos de alta densidad de tipo debris flow o mud flow con un contenido de matriz máximo del 80% depositado en un ambiente marino.

Litológicamente está constituido de lutitas con clastos de origen intraformacional inmaduros formando conglomerados y brechas, presencia de capas contorsionadas de arenisca conglomerática efecto de una inestabilidad del substrato, arenisca, lutitas, cuarzo y calizas.

Asimismo, existen intercalaciones de capas estratificadas observables en pozos según Marchant (1956). Alcanza potencias de 760m en los bajos estructurales y está datada por medio de fósiles como Ypresiano a lutetiano temprano.

2.2.4.2. Formación Socorro

Constituida por lutitas laminadas, limolitas y areniscas finas de plataforma externa intercaladas con areniscas turbidíticas. Capas de sedimentos contorsionadas y turbiditas localizadas en la base de la formación decrecen hacia su tope formacional indicando una disminución en la actividad tectónica. Presenta una potencia máxima de 457m y esta datado como lutetiano temprano a tardío. Su localidad tipo son los acantilados de ancón entre el club Ancón y la planta de agua(Ordoñez et al., 2006).

2.2.4.3. Formación Seca

Secuencia de arcillolitas gris verdosas, lutitas laminadas, margas y areniscas finas que pueden ser atribuidas a procesos de tormenta, presencia de yeso secundario. Corresponde a depósitos marinos de plataforma externa evidenciados por un aumento de bioturbación hacia el tope formacional, así como fauna nerítica; las capas Engabao son facies de abanico submarino interno. Su paleo corriente indica direcciones NNO a ONO y una paleo pendiente hacia el NO. Presenta una potencia máxima de 520m y esta datado como lutetiano temprano a tardío.

2.2.4.4. Formación Punta Ancón

A finales del eoceno medio existe una somerización depositando graywackes y areniscas líticas erosionando los depósitos marinos del lutetiano. Esta formación consiste de lutitas café rojizas y limolitas, areniscas laminadas finas líticas y conglomerados; además presenta megaturbiditas, debris flow y capas contorsionadas consecuentes de una paleo pendiente inestable como fuente (Núñez del Arco, 2003).

Sus capas son estratocrecientes y granocrecientes interpretadas como canales fluviales y distributarios que alimentaron a un sistema clástico costero justificando restos de planta y troncos carbonizados con

gasterópodos encontrados en esta formación. Su paleocorriente indica una dirección de depositación SO a NO y está datada por medio de fósiles como bartoniano (Benitez, 1995).

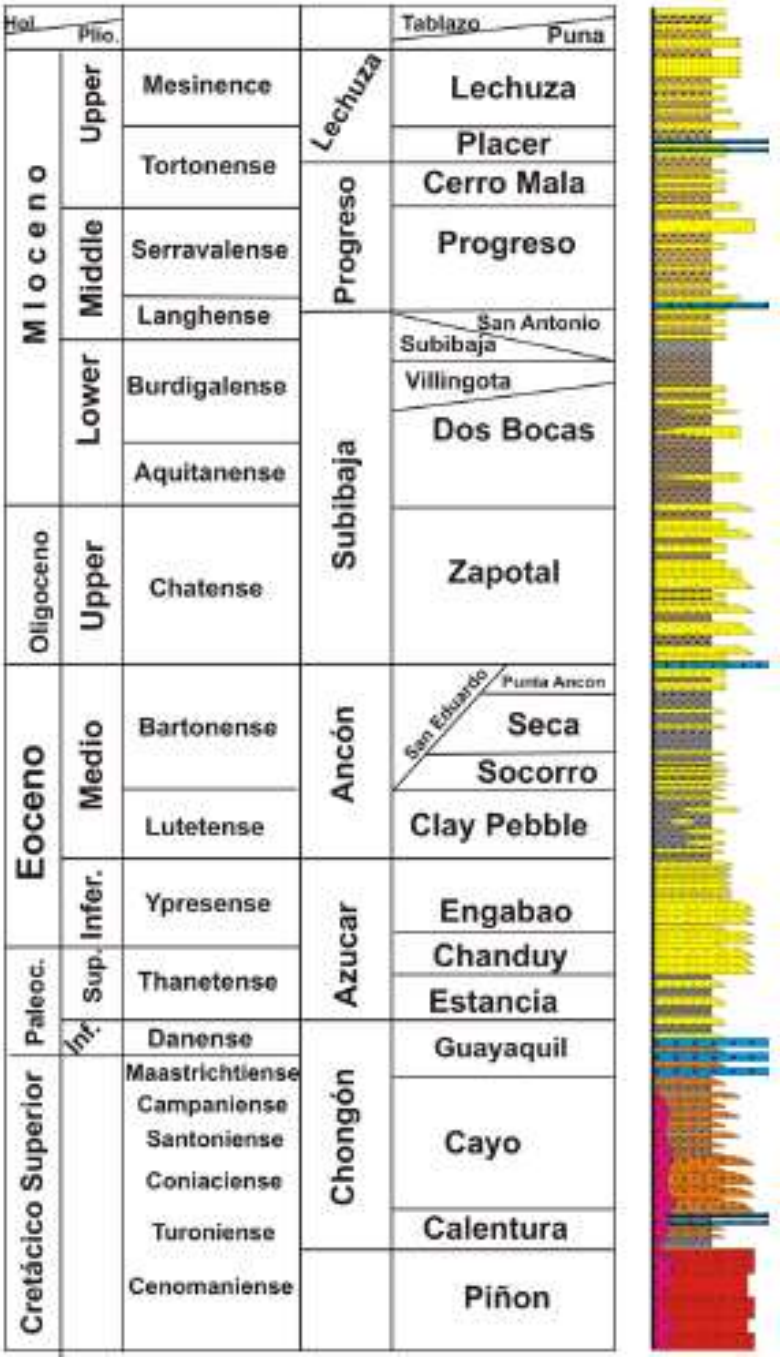


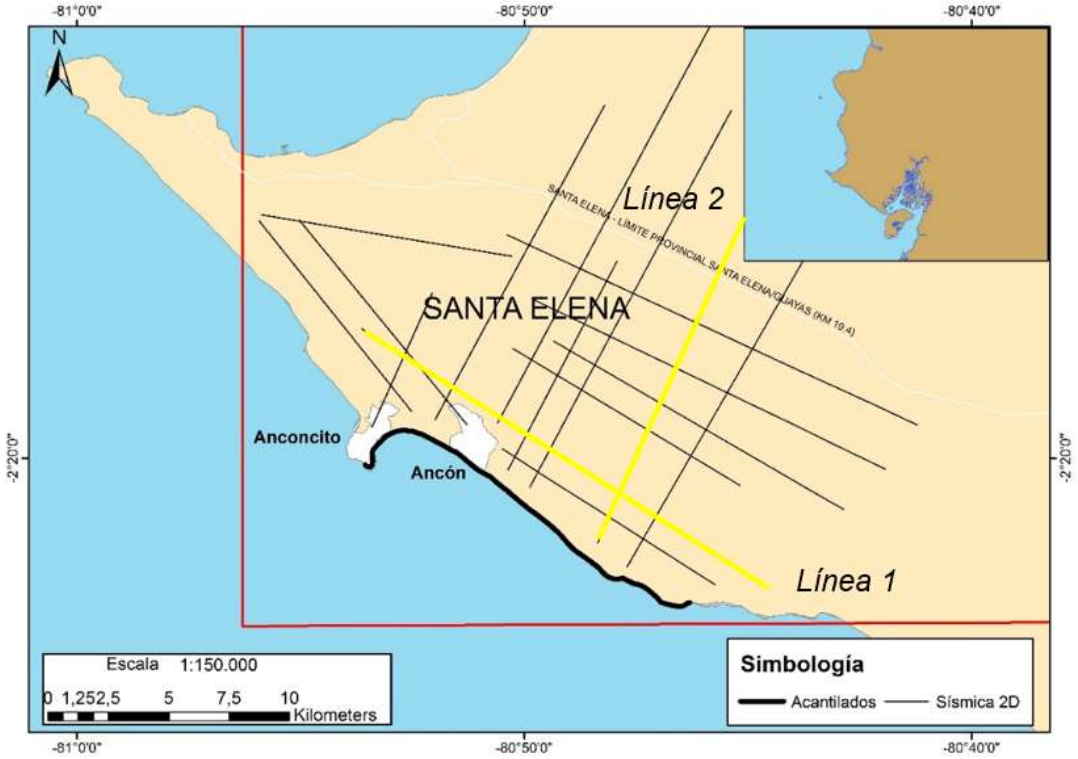
Figura 2.1 Unidades sedimentarias de la costa ecuatoriana.
Fuente: Aguilar et al (2005)

CAPÍTULO 3

3. DATOS Y METODOLOGÍA

3.1. Configuración de Datos

Se realizó una compilación de datos geológicos de campo, fundamentalmente sedimentológicos y estratigráficos recolectados durante el transcurso de este trabajo, y de observaciones previamente publicadas (Benitez, 1995; Jaillard et al., 1995; Montenegro & Loor, 1988). Además de datos de campo, se utilizó datos de sísmica en 2D, proporcionados por la empresa Petroamazonas EP. La sísmica 2D consiste de 16 líneas abarcando un área de 494 km2 (Mapa II).



Mapa II. Ubicación de datos usados en el estudio.
Fuente: Montenegro & Loor (1988); Petroamazonas EP

3.2. Metodología

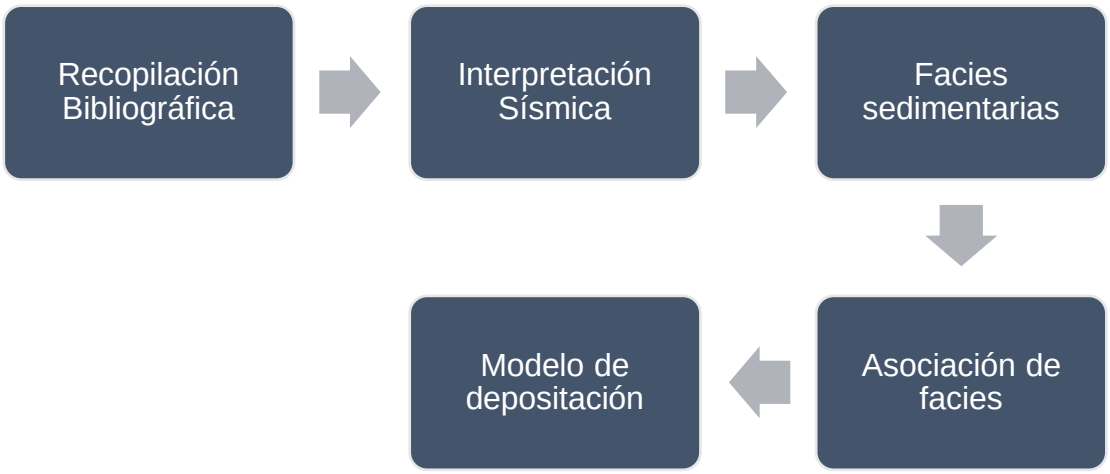


Figura 3.1 Metodología aplicada en el estudio presenta constituido por cinco etapas.
Fuente: Autores

La metodología utilizada está basada principalmente en la propuesta por Collinson (1969) para los datos de campo y para datos sísmicos la recomendada por Payton (1976); en la Figura 3.1 se observa las etapas seguidas para el desarrollo del proyecto.

3.2.1. Interpretación sísmica

La interpretación se la realizó para la discordancia Paleoceno-Cretácico la cual ha sido posible confirmar por la perforación del pozo Puna-1X ubicado en el campo Pacoa al noroeste de la zona de estudio (Gonza, 2015). A partir de este dato, se procedió a mapear este horizonte hasta la zona de estudio

bajo un marco estructural definido en paralelo a este estudio por López (2016). La discordancia fue delimitada por medio de las terminaciones tipo truncadas de reflectores. Se utilizó la línea 1 (Mapa II) como línea base para la definición de facies sísmicas, usando criterios como: amplitud, configuración, geometría y frecuencia. Aunque la resolución de la sísmica no brinda gran detalle, las facies sísmicas permitieron identificar posibles cambios en los estilos de depositación útiles para la definición del modelo conceptual.

3.2.2. Interpretación de datos de campo

La recopilación de los datos de campo fueron basados de dos fuentes:

a) Datos recolectados entre 1986 y 1989 por Montenegro (2014), donde se levantaron datos litoestratigráficos de afloramientos, así como mediciones de paleo corriente en base a indicadores estratigráficos como turboglifos, estratificación cruzada, slumpings, imbricación de clastos y paredes de canales.

b) Datos de campo tomados por los autores en ciertas zonas de los acantilados que corroboran la información levantada por Montenegro (2014).

3.2.2.1. Facies sedimentarias

Una facie sedimentaria puede definirse como un cuerpo rocoso con características específicas que reflejan las condiciones en la cual fue formada (Reading, 2002). Se utilizó la definición de facie propuesta por Reading (2002), con el objetivo de clasificar cada uno de los cuerpos observados en campo. Se tomaron en cuenta aspectos como su granulometría, litología, composición sedimentaria, estructuras sedimentarias, color y fósiles con la finalidad de conocer los tipos de procesos que intervinieron durante su depositación (Nichols, 2009).

3.2.2.2. Asociaciones de facies

Concluida la etapa de clasificación de facies sedimentarias se procedió a asociar cada una de las facies de acuerdo a alguna relación genética que puedan presentar. Se nombraron elementos arquitectónicos a conjuntos de facies que mostraron una relación entre sí, por ejemplo, secuencias de turbiditas finas intercaladas con sedimentos hemipelágicos que pueden indicar depósitos de levees proximales o distales asociados a un abanico submarino. La interpretación de los elementos arquitectónicos fue comparada con estudios similares para una mayor confiabilidad, aunque ésta puede variar dependiendo de la ambigüedad que se presenten en los parámetros utilizados para definir la asociación de facies. Se definieron siete

asociaciones relacionados a ambientes marinos. Esta etapa fue esencial debido a que las facies sedimentarias solo nos indican la naturaleza de depositación, en contraste una asociación nos brinda una combinación de procesos dominantes que pueden estar vinculados a un ambiente de depositación (Nichols, 2009).

3.2.2.3. Modelo de depositación

Haciendo uso de la interpretación sísmica y de las descripciones en afloramientos, se ubicó en mapa cada asociación de facies previamente definida con una codificación por color (Ver Mapa IV) y basado en la distribución espacial y la posible paleo-topografía definida por la sísmica se propuso un modelo de depositación.

CAPITULO 4

4. RESULTADOS

4.1. Facies Sedimentarias

En base a evidencia sedimentológica y estratigráfica como granulometría, estructuras o actividad biológica, se identificaron nueve litofacies correspondientes a distintos procesos sedimentarios. Cabe recalcar que se utilizó la terminología de Bouma para la descripción de facies sedimentarias ya que se vincularon a ambientes turbidíticos.

4.1.1. Facies caóticas (FG1)

Descripción: Clastos subredondeados de pobre a mala clasificación compuesto por diversas litologías y tamaños en un matriz limo arcillosa. Las longitudes mayores varían de pocos centímetros hasta 50 cm y bloques de arenisca y en ocasiones laminaciones carbonosas que alcanzan los 3 m de longitud. La relación bloque matriz puede llegar a un 80 % o menos. Los clastos pueden estar formados de arcillas, margas, areniscas estratificadas

en ocasiones con secuencias turbidíticas, fragmentos de carbón y cuarzo lechoso.

Interpretación: Flujo muy mal clasificado algo incoherente catalogado como un flujo de sedimentos de escombrera (debris flow) y relacionado a una reología plástica. La composición de esta facie puede indicar que existió en el algún punto depósitos turbidíticos que debido a una inestabilidad del substrato se efectuó este proceso justificando la existencia de bloques angulares estratificados. Asimismo, los clastos arcillosos que indican un flujo laminar fueron formados por la corriente cuando erosionó capas limosas y desprendió fracciones de la misma.

4.1.2. Facies contorsionadas (FG2)

Descripción: Estratos contorsionados de hasta 30 cm de espesor, constituido de arenisca masiva con abundante porcentaje de cuarzo que soporta bloques de arena en slumping de 25 cm de espesor y hasta 2,5 m de longitud. Las zonas de replegamiento contienen estratos turbidíticos Tbc predominantemente.

Interpretación: la depositación de areniscas masivas esta atribuido a la rápida descarga de arena debido a la inestabilidad en el colapso de turbiditas finas,

aunque también pueden ser causadas por corrientes no uniformes de turbidíticas de alta densidad (Kneller & Branney, 1995).

Con respecto a las contorsiones que distingue esta facie de otras se lo atribuye a un transporte de masa de tipo rotacional sobre capas estables que provocan deformación interna en sedimentos coherentes. Relacionado a un proceso de sedimentación tipo slump.

4.1.3. Facies de areniscas de grano grueso a muy grueso (FG3)

Descripción: Arenisca gruesa a muy gruesa masiva microconglomerática, con tamaño de grano máx. 8 mm, subangular, de regular clasificación con abundantes fragmentos líticos negros, niveles de tracción dados por microconglomerados donde el diámetro máximo es de 1 cm, presencia de bioturbación y fragmentos de carbón subredondeadas de 2-3 cm. En ocasiones presenta matriz arcillosa con laminaciones carbonosas de regular clasificación.

Interpretación: sedimentos inmaduros a semimaduros según su composición litológica; los niveles de tracción son producto de un cizallamiento entre dos capas provocadas por un flujo superior de alta densidad en una pendiente. El material carbonoso es de origen alóctono posiblemente depositado por suspensión

4.1.4. Facies de areniscas de grano medio a gruesa y areniscas finas con limolitas y carbón (FG4)

Descripción: Arenisca frecuentemente laminada con estratificación cruzada y convolutas de grano medio a grueso compuesta por cuarzo subangular, de regular a buena clasificación con fragmentos líticos, cementación calcárea frecuentemente asociada a limolitas arcillosas laminares en capas centimétricas con espesores de estratificación que varían de 1,5 a 4 m. Laminaciones carbonosas están presentes en este tipo de facie así como material leñosos y fragmentos de carbón con una regular clasificación.

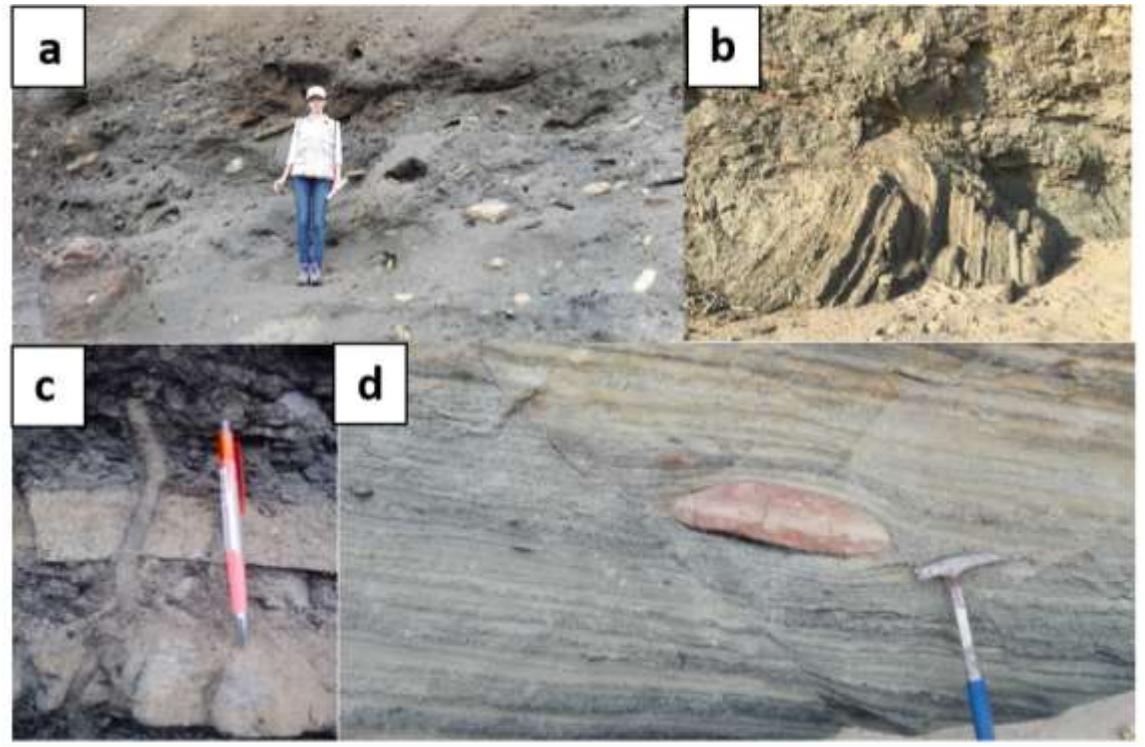


Figura 4.1 Facies sedimentarias 1.
Fuente: Autores

Interpretación: sedimento de origen continental en la cual la laminación de sus capas indica un depósito de flujo inferior de un régimen superior formados en un plano con movilidad de sedimentos; la estratificación cruzada indica flujos unidireccionales de velocidad moderados dentro de un substrato estable con altas tasas de sedimentación. La cementación calcárea indicaría sitios de depositación superior al límite de compensación de la calcita.

4.1.5. Facies de areniscas finas limosas (FG5)

Descripción: compuesta de arenisca limosa de grano fino, en paquetes centimétricos a métricos con estratificación flaser y turboglifos a la base, en ocasiones ligeramente calcárea (al ser fracturadas desprende un olor a hidrocarburo). Intercalación de limolitas laminares grises oscura a amarillentas y areniscas grises laminares de granulometría muy fina a media con una relación promedio 5:1. En ocasiones ésta facie puede estar presente con intercalaciones esporádicas de capas de areniscas con convoluciones en paquetes de hasta 30cm y puede alcanzar hasta 15m de espesor.

Es común la presencia de yeso en espesores milimétricos tanto en planos de estratificación como en fracturas indicando una procedencia posterior a la depositación (secundaria). Estas facies se podrían correlacionar con las descritas como secuencias de la formación socorro según Aguilar (2005).

Interpretación: los turboglifos, indicadores de dirección de paleocorriente, están altamente asociados a flujos turbidíticos depositados preferencialmente en la zona batial. Las intercalaciones de limolitas y areniscas sugieren cambios en la corriente de depositación siendo la limolitas asociadas a depósitos de suspensión y las areniscas a regímenes de flujo que operaron durante su depositación. La laminación convoluta está formada debido a la expulsión de agua en el sedimento después de ser depositada.

4.1.6. Limolita arcillosa (FG6)

Descripción: Consiste de limolitas de coloración gris oscura a negra con un gran porcentaje de arcilla en su composición, son semicompactas laminares a masivas y puede presentar sílice como vetillas; además poseen microfauna calcárea y radiolarios.

Interpretación: ausencia de estructuras sedimentarias y su naturaleza de sedimentos finos indican una depositación por suspensión con poca o nula actividad de corrientes. Puede tratarse de sedimentos hemipelágicos depositados en ambientes marinos profundos en zona de talud o de llanura abisal, no obstante, debido a su microfauna calcárea es probable que se haya depositado en pendiente.

4.1.7. Areniscas turbidíticas Tcd (FG7)

Descripción: Areniscas con laminaciones y convolutas generalmente en estratos finos asociadas a limolitas laminares con radiolarios en capas de 8-20 cm de espesor. Las intercalaciones de este tipo de secuencia alcanzan los 3.10 m y se evidencian repliegues y bloques de areniscas contorsionadas con turbiditas Tcd finas de 5-10 cm contorsionadas dentro de una zona de slump con esporádicas areniscas de 20-30 cm.

Interpretación: autores como Shanmugam (2006) asocian estas facies a depósitos de corriente de fondo, no obstante, estos también pueden ser depositados por flujos newtonianos vinculados a procesos turbidíticos La presencia de bloques y contorsiones son debido a procesos de transporte de masa (MTD).

4.1.8. Areniscas turbidíticas Tabcd y dominadas por estratificación cruzada (FG8)

Descripción: Corrientes turbidíticas finas completas a Tabcd con espesores que van de 10 a 50 cm, en ocasiones intercaladas con limolitas o asociadas a secuencias compuestas Tc y Td. Las turbiditas Tabcd pueden ser creciente o decreciente, además presentan bases erosivas, fragmentos calcáreos producto de retrabajamiento de sedimentos, y preservación de un nummulite

y otros restos calcáreos. Además, se puede evidenciar un claro afinamiento de espesores hacia el tope de la secuencia, en ocasiones se encuentra limitada por una base erosiva y hacia arriba de la facie se evidencian elongaciones tipo sand ribbons.

Interpretación: sedimentos que siguen la secuencia de Bouma indicarían flujos newtonianos sin resistencia de flujo vinculados a procesos turbidíticos; su intercalación con limolitas puede ser debido a cambios de velocidad de corriente de flujo o a ausencia o aumento de suministro de sedimentos. Su base erosiva indicaría un depósito de canal con fragmentos calcáreos retrabajados. Los sand ribbons evidenciados en el tope de la facie indican que fueron depositados corrientes de marea en mares someros paralelos a la dirección de flujo de depositación.

4.1.9. Areniscas turbidíticas Tbc-Tc (FG9)

Descripción: turbiditas Tbc con espesores entre los 20cm - 450cm e inclusiones asfálticas, turboglifos, y replegamientos en slumping frecuentemente con alternancias de limolitas. Areniscas de grano finas a media, subangular de regular clasificación asociadas a secuencias turbidíticas Tbc, Tc y Te, en general la mayoría de las secuencias turbidíticas son dominadas por Tc. La arenisca se presenta laminar con estratificación cruzada y con relación arena-arcilla 3:1. Los tamaños de estratos van desde

2-30 cm, se evidencian dominancia de secuencias Tc y Tbc muy contorsionadas en espesores centimétricos.

Figura 4.2 Facies sedimentarias 2.
Fuente: Autores.

Interpretación: constituida principalmente por facies de Bouma Tb y Tc, estan vinculadas a flujos turbidíticos, aunque debido a la ausencia de su parte basal (Ta) y a estructuras contorsionadas nos inclinaríamos a abanicos submarino internos.

4.2. Interpretación Sísmica

4.2.1. Horizonte Tope Paleoceno/Cretácico

Debido a la baja resolución de las líneas sísmicas, donde la pobre definición de los reflectores no permitió realizar un análisis más detallado de estratigrafía sísmica secuencia, se limitó la interpretación al reconocimiento de las principales morfologías pertenecientes al Eoceno Medio y a ciertas facies sísmicas. La falta de registros eléctricos como densidad y sónico en pozos cercanos al área de estudio o el no contar con una tabla tiempo-profundidad (Checkshot) impidió que se pueda realizar la calibración sísmica-pozo. Por tal razón se utilizó el trabajo de Gonza (2015), cuya área está dentro del área de estudio del presente trabajo, donde a partir de registros eléctricos (sísmica) y marcadores estratigráficos (pozos) se estableció una relación sísmica-pozo.

Gonza (2015) reconoce un marcador estratigráfico denominado Horizonte 7 (H7) que corresponde a la base de la secuencia S7 que incluye a la base al miembro Clay Pebble Beds. A partir de este horizonte sísmico se llevó la interpretación hacia las líneas símicas 2D del presente estudio. Como resultado de la interpretación de las líneas sísmicas se muestra un mapa en tiempo correspondiente al Eoceno Medio.

Mapa III. Mapa en tiempo correspondiente al Eoceno Medio.
Fuente: Petroamazonas EP

4.2.2. Facies Sísmicas

La importancia del análisis de facies sísmicas radica en que brindan información litológica, características estratigráficas y ambientes de depositación ya que las terminaciones de los reflectores sísmicos, generadas por superficies que separan los estratos de diferentes propiedades acústicas, y sus configuraciones son interpretados en el ámbito estratigráfico (Mitchum et al., 1977). Sin embargo, cuando datos de pozo son ausentes, brindar una interpretación confiable y certera es casi imposible. Una sola facie depositacional puede responder como varias facies sísmicas o geometrías

por ejemplo un debris flow puede presentar terminaciones de tipo downlap bidireccional, ser totalmente caóticos como en el área de Agat o ser paralelos y continuos como en el golfo de México (Shanmugam, 2000).

Por lo tanto, la interpretación que se realizó fue superficial tomando en cuenta su energía de depositación, la figura 4.3 representa la línea 1 en la cual se identificaron cuatro facies sísmicas y la figura 4.4 corresponde a la línea 2 y presenta tres tipos de facies sísmicas.

4.2.2.1. Facie A

Sus reflectores son discontinuos con una amplitud baja y una frecuencia baja a media; además se encuentran delimitados por onlaps y truncaciones que demuestran una erosión en el tope y una depositación horizontal en una superficie inclinada. Acerca de su configuración esta puede ser denominada como caótica a ondulada y es interpretada como sedimentos depositados en un arreglo de alta o variable energía relacionados a rellenos de canal, contorsión de sedimentos o deslizamientos. Esta facie se observa principalmente como el primer relleno del eoceno medio y está relacionada a debris flow.

4.2.2.2. Facie B

Reflectores continuos con amplitud alta y frecuencia baja delimitados por terminaciones como downlap y onlap. Su configuración es divergente observándose un aumento de espesor en áreas topográficamente bajas, esta configuración sugiere una variación lateral de tasa de depositación o rotación progresiva de la superficie depositacional lo cual es evidente ya que sus reflectores cambian progresivamente a aquellos con menor amplitud indicando depósitos de misma litología posiblemente hemipelágicos. Además, también pueden ser causados debido a la tectónica activa presente en el eoceno medio.

4.2.2.3. Facie C

Presenta reflectores semicontinuo con amplitud y frecuencia alta delimitados por downlap, trucaciones y toplap. Su configuración es progradante oblicuo de tipo tangencial algo sigmoidal indicando una subsidencia relativamente rápida o un aumento del nivel relativo del mar que permita conservar el tope de esta facie sin erosión o baja erosión, además de una baja tasa de sedimentación. Es decir que en su tope pueden existir sedimentos de bypass o hemipelágicos observados en campo relacionados a la formación seca.

4.2.2.4. Facie D

Reflectores continuos de frecuencia media a baja y amplitud alta con una configuración ondulada sugiriendo una tasa de sedimentación uniforme en una configuración estable. Están identificados como el último relleno del eoceno medio. En ciertas zonas la amplitud disminuye debido a la dominancia de una misma litología (areniscas o limolitas) representa la secuencia con mayor potencia identificada en las líneas sísmicas. Existe una variación denotada en blanco (Figura 4.3) que presenta las mismas características excepto una menor amplitud correspondiente a una mayor predominancia de una misma litología la cual se concentra en el sureste del área, aunque también puede ser correspondientes a facies g.

4.2.2.5. Facie E

Constituida por reflectores continuos a semicontinuos, amplitudes altas, frecuencia baja delimitado principalmente por onlap con un relleno paralelo a ondulado mostrando una energía de depositación uniforme hacia el tope de su secuencia la amplitud disminuye a media debido a predominancia de algún tipo de litología. En ciertas zonas no confinadas aún existe onlap debido a una erosión creando una discordancia con la facie f. Es similar a la facie d, no obstante, estas facies presentan menor frecuencia que la anterior. Este tipo de facie aparece en la parte basal del conjunto secuencial.

4.2.2.6. Facie F

Reflectores continuos a semicontinuos, amplitud alta a media, frecuencia baja delimitado por downlaps y onlaps. Datos de campo indican la existencia de una dirección de depositación hacia el NE lo cual las terminaciones de tipo downlap confirman esta información, además presenta una geometría de montículo delimitado por onlaps. Debido a su naturaleza de onlap y al comportamiento de sus reflectores se sugiere una depositación por un flujo controlado por gravedad y de bido a una mayor potencia en bajo topográfico se lo vincula a un modo de alta velocidad de transportación y depositación.

La asimetría de los patrones de reflexión indica derrubios y redepositación por grandes corrientes unidireccionales. Corrientes de turbidez son nombradas como proceso que origina este tipo de depósito (Figura 4.4).

4.2.2.7. Facie G

Reflectores continuos a semicontinuos paralelos a ondulados en los altos estructurales evidenciando una tasa de sedimentación continua no obstante se puede notar una configuración algo divergente en zonas donde existió una mayor subsidencia debido a una tasa de sedimentación diferencial, es decir que existió una subsidencia activa debido a la tectónica, en la base se puede observar pequeños reflectores discontinuos algo caóticos indicando una

mayor energía de depositación vinculados a slumpings. Se encuentra delimitado principalmente por truncaciones su frecuencia es alta y su amplitud baja debido a la predominancia de un mismo tipo de litología, esta facie grada lateralmente a facies con mayor amplitud. Son los depósitos más jóvenes como se observa en la línea 1 y 2.

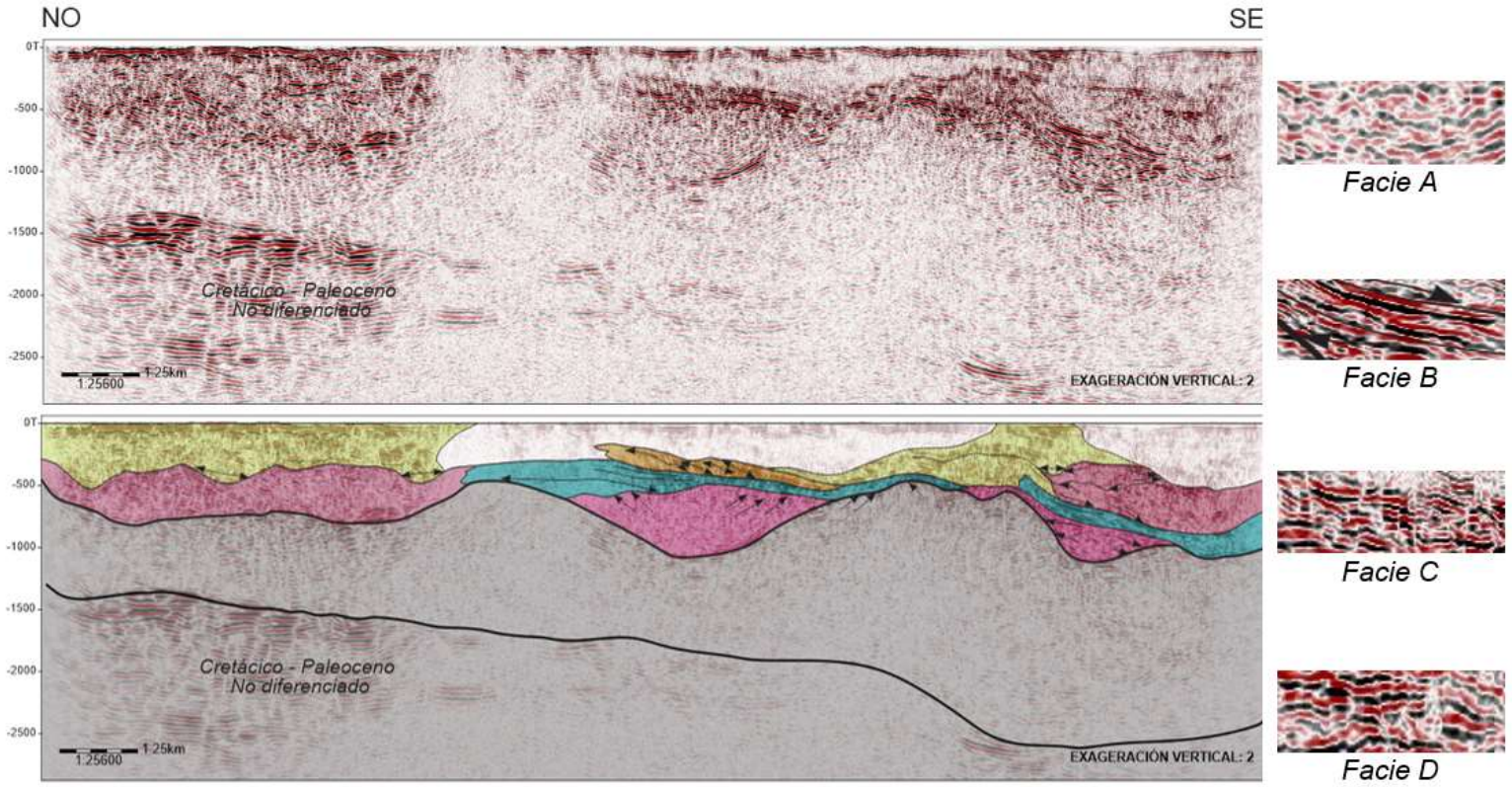


Figura 4.3 Linea sismica interpretada - Línea 1 (Mapa II).
Fuente: Petroamazonas EP

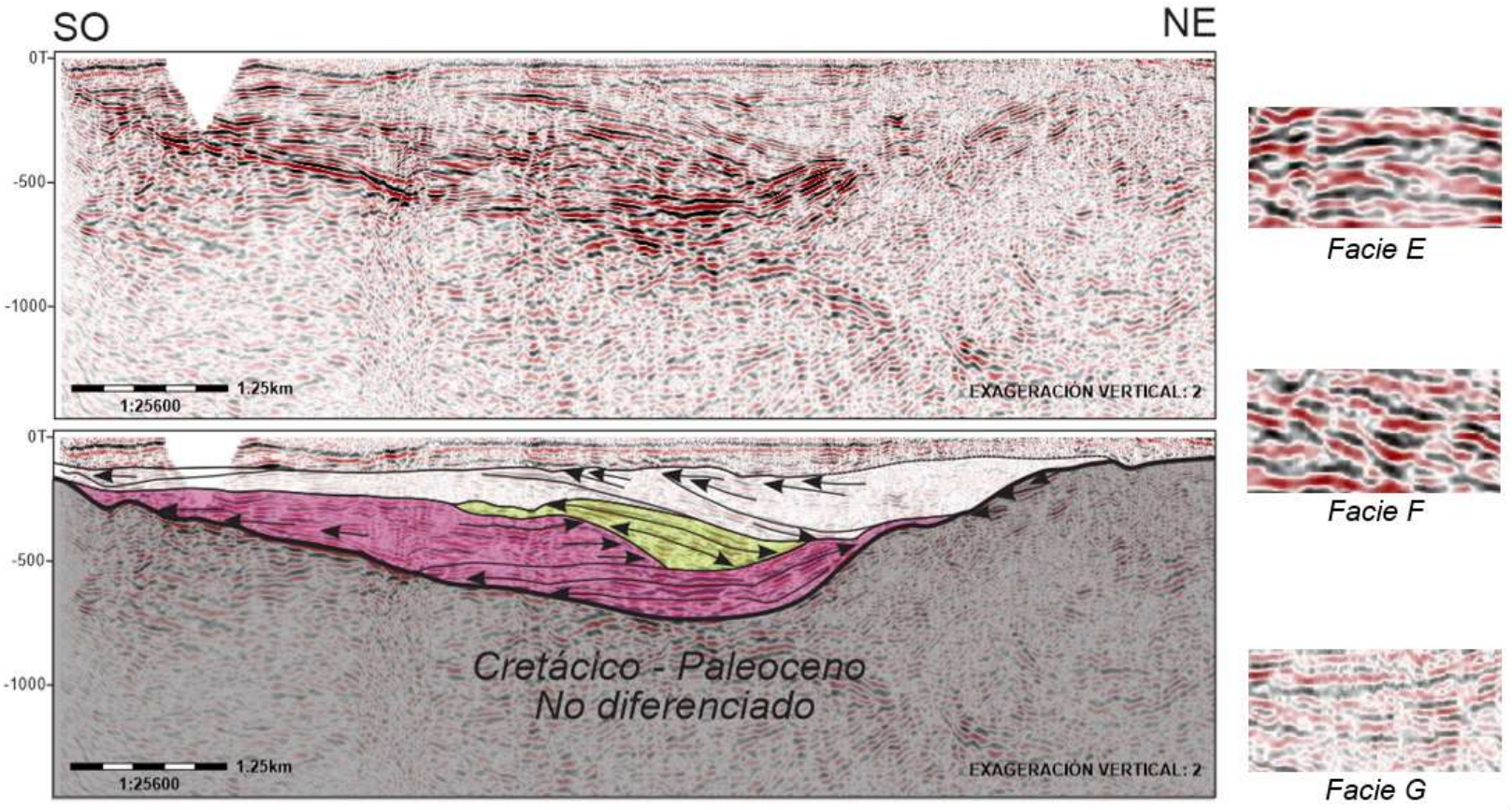


Figura 4.4 Linea sismica interpretada - Línea 2 (Mapa II).
Fuente: Petroamazonas EP

CAPÍTULO 5

5. DISCUSIÓN

5.1. Asociación de Facies

Las asociaciones de facies fueron descritas de acuerdo a varios criterios presentados por diferentes autores (Posamentier & Kolla, 2003; Khan & Arnott, 2010; Janocko et al., 2013; Crevello et al., 2007; Wagreich, 2003; Hubbardet al., 2009) y otros. A partir de las facies y la asociación de facies se procedió a definir elementos arquitectónicos con el objetivo de proponer un posible ambiente de depositación Gordon, (2014). En esta fase se identificaron 6 elementos arquitectónicos, los cuales se describen a continuación:

5.1.1. MTD

Los depósitos más gruesos como debris flows o slumping indican que han existido episodios de inestabilidad gravitacional en la zona asociándolos a secuencias depositadas en un escenario de pendiente submarina o procesos

de transporte en masa (Mass Transport Complex). Janocko et al., (2013) asocia este tipo de depósitos gravitacionales a la incisión del canal y a la migración lateral del mismo, donde la erosión de la corriente turbidítica, sobrecarga abruptamente con clastos al canal, y colocaría una base de flujos de detritos y movimiento lateral por debilitamiento del substrato sobre la curva del canal que se desliza corriente abajo (Ver Anexo 3)

Las grandes secuencias caóticas se atribuyen a deslizamientos locales que pueden ocurrir por la inestabilidad de la pared del valle principal. Según Janocko et al., (2013) estos depósitos son conocidos como depósitos de transporte en masa (MTDs), y su ocurrencia probablemente se da cuando el valle o cañón alcanza su máximo relieve.

La presencia de este tipo de depósitos ha sido relacionada a ambiente marinos en zonas de canales y valles (Janocko et al., 2013). El carácter interno de los MTDs varía dependiendo de las facies sedimentarias que colapsen, del canal o pared del valle y de la intensidad de la deformación de cizalla. Los MTDs derivados del colapso de levees tienden a ser más arenoso Sand-Prone. Los MTDs que son más lodosos (Mud-Prone) proveerán de abundantes clastos lutíticos. En el área de estudio se evidencia gran cantidad de clastos lutíticos (Fm. Seca?), fragmentos de areniscas (Fm. Socorro?), estratos esporádicos de areniscas disturbadas, que aparentemente provienen de zonas cercanas al evento de MTD.

En el trabajo de Hubbardetal (2009), depósitos caóticos de transporte en masa, son asociadas a facies muy similares a las FG1 y FG2 del presente estudio, interpretados como bloques coherentes que viajaban a través del fondo marino (Figura 5.1).

Figura 5.1 Sedimentos contorsionados de gran dimensión debido a flujos gravitacionales.
Fuente: Autores

La interpretación se basa en la composición de los olistolitos que consisten de lutitas predominantemente de grano fino laminado y arenisca, que se interpretan como secuencias que se derivan de altos topográficos, tales como levees y pendientes del cañón que rodeaban la zona, probablemente asociado a avalanchas de escombros.

5.1.2. Flujos detríticos lodosos (muddy debris flow)

Secuencia de arcilla gris oliva oscura algo limosa semi plástica con abundancia de foraminíferos como matriz de conglomerados o brechas sedimentarias. Existen clastos de arenisca intraformacional o en forma de lentes pequeños de granulometría gruesa, aproximadamente 200mm de longitud y 6mm de potencia. Puede presentar también clastos de carbón mezclados con restos calcáreos.

En la quebrada Engabao, esta secuencia presenta una mayor potencia y desarrollo evidenciando elementos subangulares mal clasificados de tamaños entre 1cm y 60cm constituidos de areniscas estratificadas correspondientes a elementos de levees, clastos calcáreos en forma de concreción, guijas policmíticas con estructuras de flujo marcada en la matriz.

Las dimensiones de los clastos o bloques pueden variar siendo en ciertas zonas de menor granulometría e incluso potencia, aunque en la zona sureste del área de estudio esta secuencia no predomina, no obstante, entre el P1 y P2 se observa una gran extensión lateral alcanzando una potencia máxima de 9m superando incluso el 50% del volumen de clastos o bloques existentes con respecto a la matriz.

Esta secuencia casi siempre es erosionada por depósitos de areniscas (sandy debris flow) o afectada por estructuras estratigráficas secundarias como calcos de carga en su tope formacional debido a la depositación de areniscas cuando la secuencia aún no se encontraba litificada.

Tomando en cuenta sus características se concluye que se trata de un detrito de derrubio rico en lodo o limo; según su configuración caótica se presume que fue depositado por un flujo de alta energía de tipo plástico (no newtoniano - cohesivo) causado por deslizamiento gravitacional de sedimentos no consolidados en una pendiente continental.

Tabla I. Localización de puntos donde aflora flujos detríticos lodosos.

Datum	Puntos	X	Y
WGS84 – 17 S	**P1**	514281.608	9743101.379
	P2	514490.347	9742869.732

Fuente: Montenegro & Loor (1988)

Las contorsiones a veces observadas son causadas por deformaciones sin sedimentarias. Principalmente está vinculada con la formación clay pebble beds definida como olistostroma, además conociendo que es el primer relleno de esta cuenca datada como lutetiano se confirma la hipótesis de Benitez (1995), la cual indica que esta secuencia se depositó solo en los bajos estructurales preexistentes y por lo tanto no se encuentra en los altos estructurales no por erosión sino por no depositación.

5.1.3. Flujos detríticos arenosos (sandy debris flow)

Presenta una base erosiva o calcos de carga debido a la no consolidación de sedimentos infrayacentes en el momento de su depositación, consiste de areniscas microconglomeráticas o de granulometría gruesa masivas con fragmentos arcillosos que gradan a areniscas laminares finalizando con convoluciones o estructuras de tipo “dish” (Figura 5.2d). Las estructuras de escape de agua son causadas cuando la depositación rápida del debris flow rico en arena se licuifican permitiendo a los fluidos escapar del material arenoso tendiendo a remover la arcilla de las zonas inferiores y depositarla en las superiores (Shanmugam, 2006). En toda la secuencia se puede observar restos carbonosos en forma de laminación o como clastos.

En zonas bien desarrolladas se evidencian bloques arenosos estratificados con elongaciones máximas de 2m en una matriz arenosa friable de organización caótica indicando que fue producto de una inestabilidad de talud.

Se pueden encontrar depósitos similares en Punta Pita y Punta Paz, sin embargo, mayoritariamente este elemento arquitectónico se lo localiza en Punta Ancón; es en esta zona donde se encuentran niveles de tracción (Figura 5.2a) en micro conglomerados o areniscas gruesas desarrollados debajo de un flujo turbulento producto del cizallamiento y slumping debido a

una tensión ejercida por flujos de masa suprayacente (Sohn, 1997). Una característica principal de flujos debríticos plásticos es la gradación inversa la cual está presente en el P3, normalmente se encuentra localizada en la parte basal de la secuencia y es atribuida a una transformación de flujo fuertemente coherente a uno moderado o débilmente coherente que deposita con una gradación normal (Shanmugam, 2000).

Tabla II. Localización de puntos donde aflora flujos detríticos arenosos.

Datum	Puntos	X	Y
WGS84 – 17S	**P3**	512227.056	9741886.117
	P4	520964.253	9738040.012

Fuente: Montenegro & Loor (1988)

En el P4 se evidencia una depositacional agradacional, el cual alcanza 9m de potencia, que grada en el tope a turbiditas finas, aquí se depositan clastos arcillosos en una matriz arenosa (Figura 5.2b) en la parte basal o media de la secuencia, los cuales son interpretados como depósitos de un flujo de detritos plástico debido a una presión dispersiva, resistencia de matriz, establecimiento de sedimentación y a una elevación boyante (Shanmugam, 2006).

Teóricamente puede presentar una concentración de sedimentos entre el 25 – 95% del volumen total. Existen otro tipo de areniscas sin erosión basal

masivas que podrían estar clasificadas en este tipo de elemento no obstante no existe propiedad alguna que sean calificados como sandy debris flow.

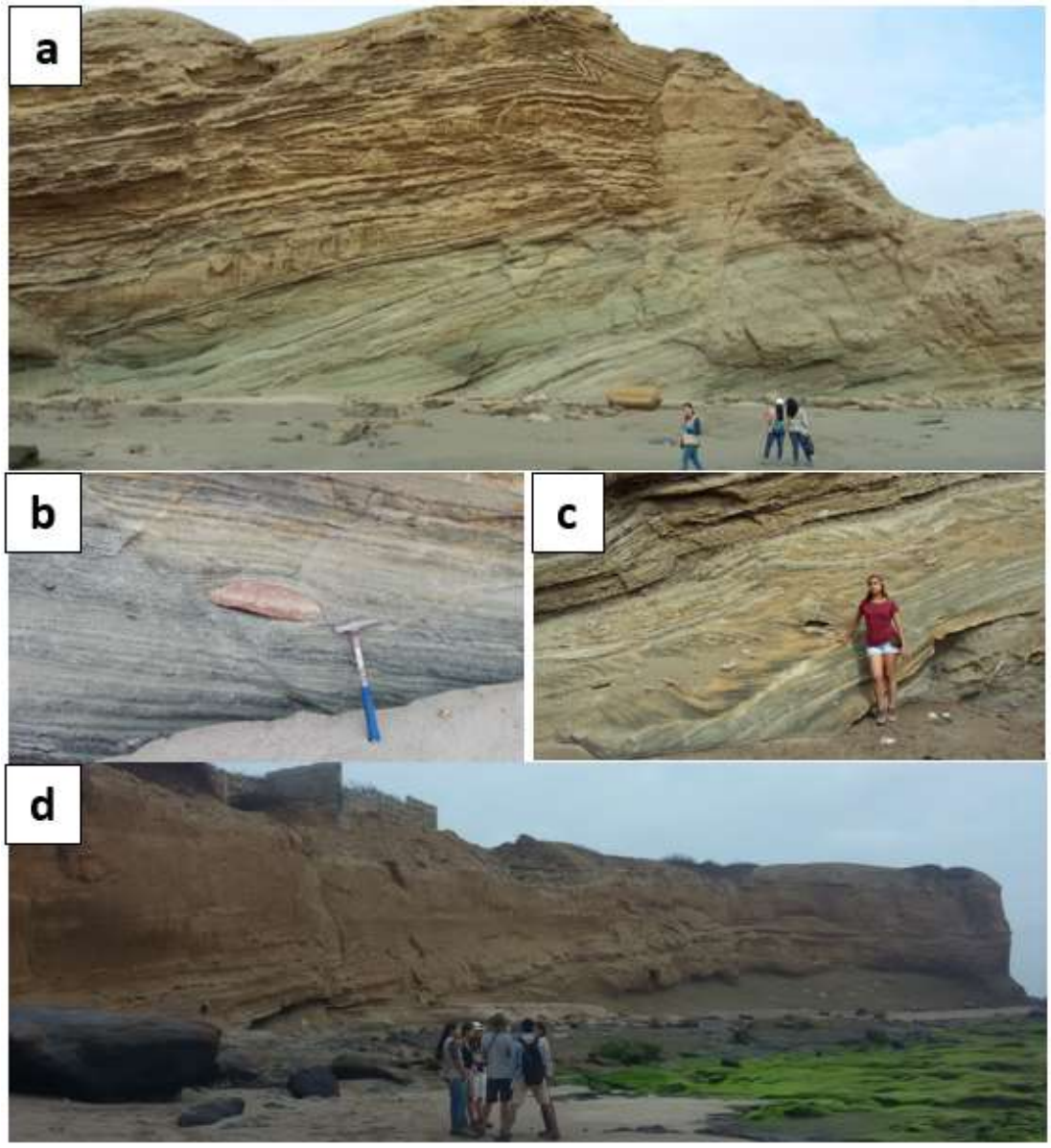


Figura 5.2 Flujo de detritos ricos en arena.
Fuente: Autores.

Posiblemente estas secuencias son depositadas debido a ciclos de cambios relativos del nivel del mar, durante la caída relativa del nivel del mar, es decir

que esta arena puede provenir directamente de fuente de sistema de ríos por flujos hiperpícnicos cuando los ríos se inundan (Posamentier & Kolla, 2003). Las secuencias de carbón y areniscas, siempre se evidencian relacionadas a depositación por flujos en el área de Anconcito (Figura 5.2c), asimismo en Ballenita se puede apreciar secuencias muy similares a las mostradas.

Según Posamentier & Kolla (2003), cuando los depocentros alcanzan el límite de plataforma ya sea de manera directa por flujos hiperpícnicos o de manera indirecta por remobilización de sedimentos depositados, puede ocurrir un aporte de corrientes turbidíticas dentro de la plataforma y piso oceánico, además agrega que durante tiempos de caídas del nivel del mar (Relative Sea-Level Fall) es común la intervención de erosión fluvial asociado a valles incisos y cañones. Subsecuentemente durante (Relative Sea-Level Stillstand) la sedimentación de arena ocurre en asociación con depósitos fluviales y estuarinos dentro de valles incisos.

5.1.4. Rellenos de Canal

En general un canal submarino se puede definir como un bajo topográfico causado por erosión sedimentaria. Aunque la mayoría de estos canales son rellenados por debris flow, los cuales son incapaces de formar grandes canales erosivos, y formados por turbiditas finas no siempre es posible

establecer si el relleno actual fue quien cortó y formo el canal o algún otro proceso fue involucrado.

Los flujos de debrites ricos en arenas pueden ser considerados como un tipo de relleno de canal ya que presenta una base erosiva, no obstante, aquí se describirán solo los rellenos de tipo turbidítico. A diferencia del elemento arquitectónico anteriormente descrito este sigue la secuencia de Bouma con una gradación normal categorizándolo como turbiditas y presentan menores dimensiones que los anteriores.

Constituidos por areniscas con facies Tabc, es decir que gradan de areniscas gruesas conglomeráticas de clastos centimétricos a areniscas laminares finalizando con aquellas que presentan estratificación cruzada y convoluciones, existen laminaciones carbonosas y restos calcáreos como fragmentos de concha. Igualmente, ciertas canalizaciones presentan estructuras de carga su potencia muestra dimensiones entre 1 y 1.5m con una dirección de depositación N40° (Figura 5.3). Pueden erosionar secuencias de sandy debris flow.

A diferencia de los debris flow estas tienen una mayor extensión lateral en el momento de su depositación por suspensión, por lo cual ciertos cuerpos arenosos masivos pueden ser incluidos en este elemento ya que se observa un cambio de espesor (en su base existen estructuras de corriente).

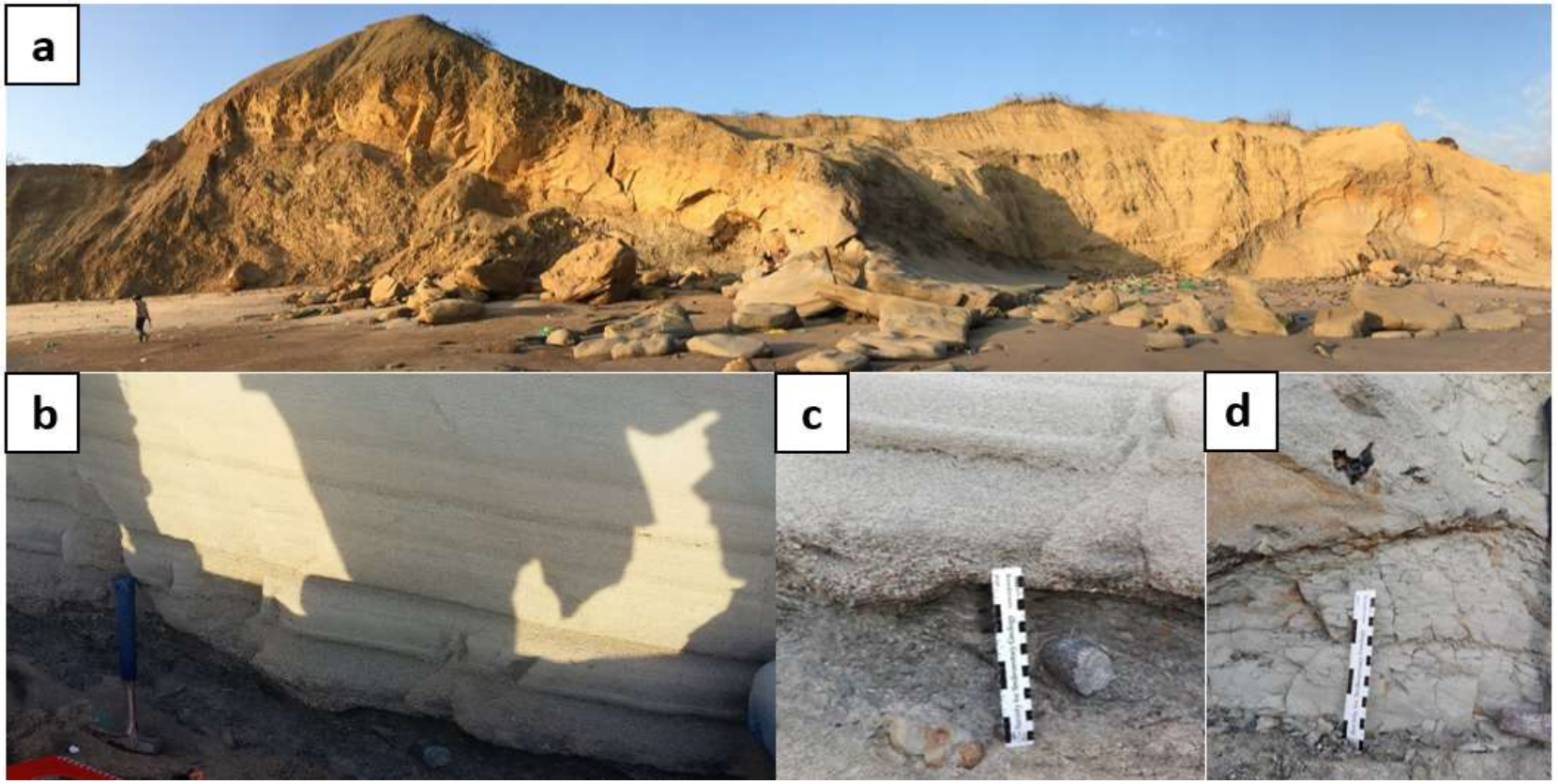


Figura 5.3 Relleno de canal por facies turbidíticas.
Fuente: Autores.

5.1.5. Levees distales

Secuencia de limolitas arcillosas con estratos de areniscas laminados y estratificación cruzada. Presenta paleo corrientes de N102° - N330° mostrando direcciones perpendiculares u oblicuas a las corrientes principales de depositación (canales), estos fueron tomados por turboglifos y otras estructuras que indican su dirección de depositación. Se observa un claro cambio vertical de limolitas marino profundas con presencia de radiolarios a limolitas arenosas localizadas comúnmente hasta el *¨rise¨* de la pendiente evidenciando un posible proceso de regresión. Estos sedimentos marino profundo presentan mayor dominancia en esta secuencia con espesores que varían desde los 0.8m a los 3.5m; siendo su mayor potencia hacia el tope de la columna.

Las areniscas son de color gris de granulometría fina a media regularmente clasificada con espesores que van desde los 0.25m a los 0.7m. Se observan calcos de carga en ciertos cuerpos arenosos indicando una rápida depositación de estos sedimentos cuando las limolitas aún no se encontraban totalmente consolidadas. Existen variaciones de relación entre estas secuencias siendo en ciertos puntos 1:1 y en otros hasta 5:1.

Debido a su dirección de depositación y a sus secuencias se puede vincular esta asociación a varios tipos de depósitos. Shanmugam (2006) menciona que este tipo de secuencias pueden ser interpretadas como depósitos retrabajados por corrientes profundas en una secuencia de sandy debris flow, sin embargo, no se observan otro tipo de estructuras que nos puedan confirmar que es este tipo de depósito como por ejemplo gran bioturbación, la cual es una característica principal de este tipo de depósito según ciertos autores (también puede ocurrir bioturbación en otros depósitos no afectados por contornitas), mud-drapes, flaser, mud-offshoots en ripples, entre otros.

Por otra parte Kane et al (2007) muestran que los levees pueden ser catalogados como proximales o distales a los canales según su sedimentología. Realizando una revisión de la secuencia encontramos características que pueden ser vinculados a facies distales tales como la existencia de laminación y convoluciones en las areniscas intercaladas con hemipelágicos como es observable en la figura 5.4 (FG9 - FG8). El incremento de espesor de 0.05m a 0.20m en las arenas hacia el tope de la columna puede ser debido a un apilamiento un poco más lateral que agradacional. La presencia de ciertos episodios de depositación de grano grueso puede interpretarse como variaciones periódicas en el flujo local y en las condiciones del canal.

Estas secuencias también se pueden atribuir a la depositación en margen del canal o levee u otros depósitos exteriores al canal (Ross & Arnot, 2007).

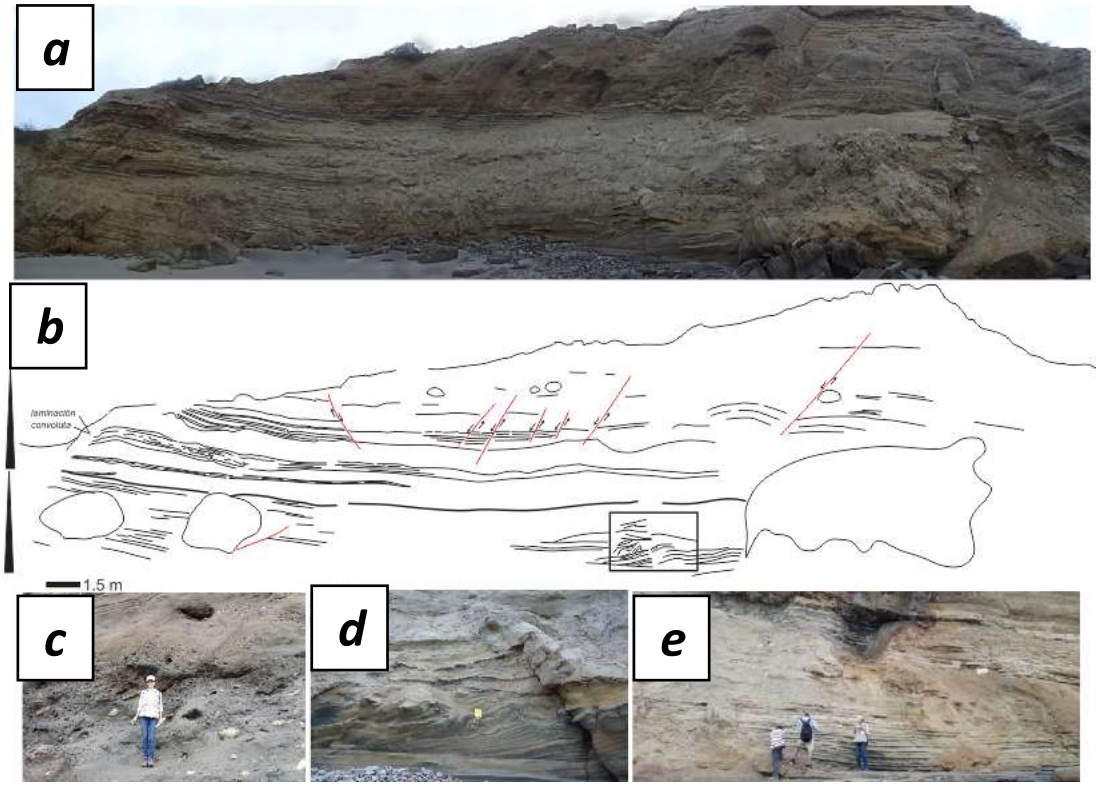


Figura 5.4 Secuencias relacionadas a levees distales debido a su predominancia de limolitas.
Fuente: Autores

5.1.6. Levee Proximal

Hacia la base de esta asociación se evidencian turbiditas Tabc grano y estrato decreciente con base erosiva que podrían corresponder a facies de levee depositado en la curvatura de un canal (outer channel bends), ya que no se observan secuencias conglomeráticas (Posamentier & Kolla, 2003).

Grandes secuencias de aproximadamente 20 m de areniscas con intercalaciones de hemipelagitas facies (Figura 5.5). Algunos estratos muestran un adelgazamiento de capa en pocos metros o geometría en forma de lentes, lo cual podría ser interpretado como secuencias de intercanal, parte del relleno decanal (Muti & Ricci Luchi, 1975) o de levees de canales de abanico superior (Walker, 1978). No podrían ser depósitos de llanura abisal por su geometría.

Figura 5.5 Levees proximales constituidos mayoritariamente de areniscas turbidíticas.
Fuente: Autores

Dentro de las secuencias se distingue una gradación grano y estrato creciente, que podría deberse a la erosión asociada a la migración lateral del eje del canal (Khan & Arnott, 2010). También se puede interpretar que los flujos más gruesos (arenisca media a gruesa) corresponden a las facies proximales del depósito de levee. (Crevello et al., 2007). Estas secuencias que podrían corresponder a facies de levee, serían importantes en la

prospección hidrocarburífera ya que por su arquitectura (sand-prone) las colocarían como objetivos de exploración o elemento importante de caracterización de reservorio (Janocko et al., 2013).

Tabla III. Orientación de direcciones de paleocorrientes.

Estructura	Orientación
Lineación en arenisca	N300
Estratificación cruzada	N270-N300
Estratificación cruzada	N270
Lineación en arenisca	N240
Turboglifo	N310
Estratificación cruzada	N285
Estratificación cruzada	N290

Fuente: Montenegro & Loor (1988)

Las direcciones de paleocorrientes tomadas en estructuras de corriente corroboran la idea de una posible zona de flujos de derramamiento (levee deposits) ya que se han tomado mediciones (Tabla III) con un promedio de orientación N280°, las cuales se orientan oblicuas a la posible dirección del canal principal que de acuerdo a la sísmica tendría una dirección aproximada de N45° – N50° (Khan & Arnott, 2010).

5.1.7. Depósitos de Desbordamiento (Overbank)

La depositación de secuencias de desbordamiento en canales submarinos se atribuye al sobrederramamiento de corrientes turbidíticas transportadas por el canal, debido a que la corriente turbidítica transporta en volumen demasiado grande para la capacidad del canal, o debido a un desequilibrio hidráulico con la geometría del canal (Janocko et. al, 2013).

De base a tope se evidencian predominancia de secuencias turbidíticas Tad y Tcd que corresponden a facies (FG7) y (FG8), con capas de espesores que van de 30 a 60 cm, las turbiditas gradan de areniscas gruesas-medias Tad a areniscas finas dominadas por Tcd. De acuerdo a lo reportado por Khan & Arnott (2010), donde se describen 2 facies muy similares a las facies FG7 Y FG8, probablemente pueden relacionarse a eventos de flujos de desbordamiento (Overbank Splay Deposits).

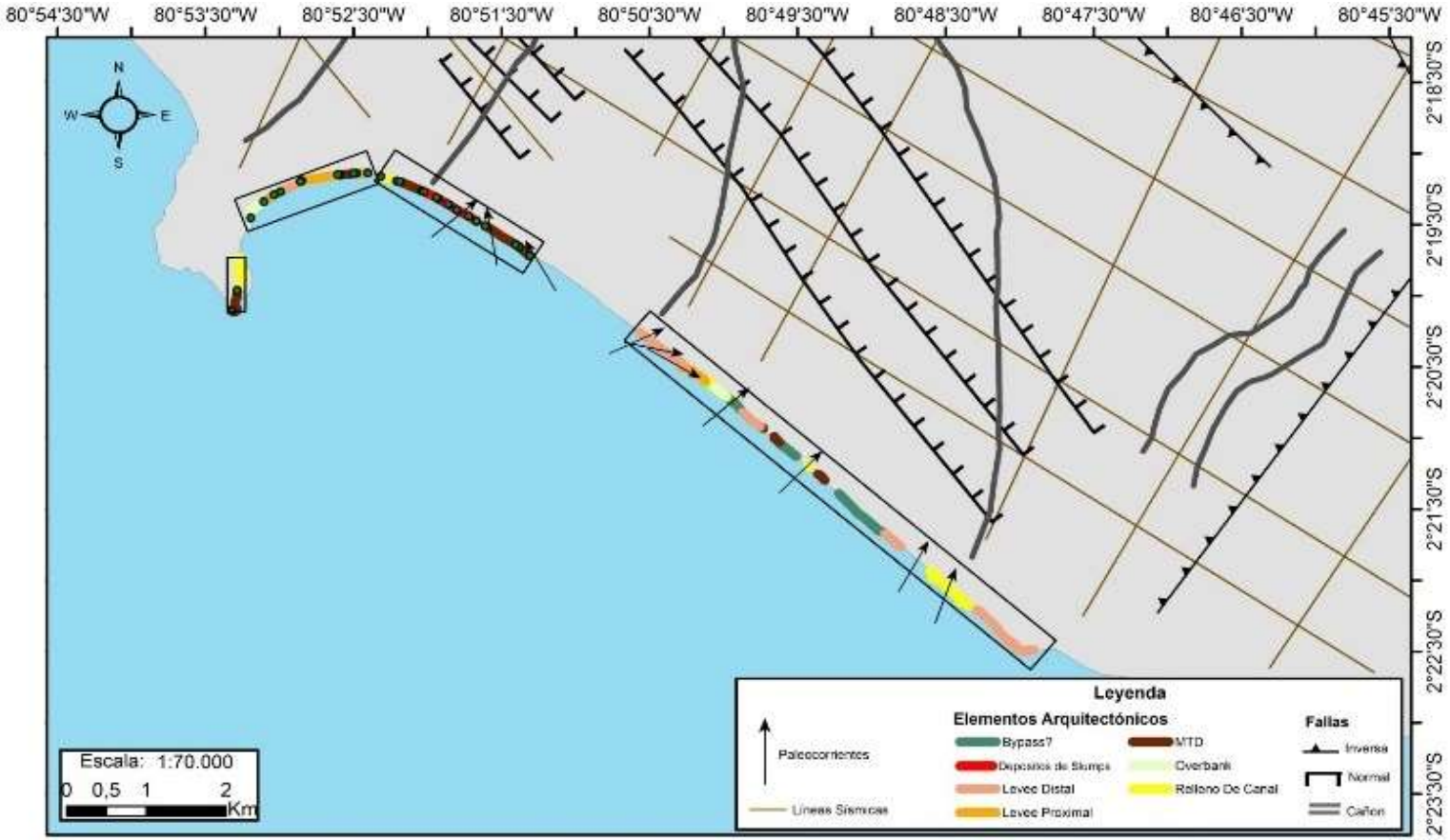
5.1.8. Depósitos de bypass.

Se incluye a todos los sedimentos limolíticos hemipelágicos que muestran finas intercalaciones con areniscas que indican una baja tasa de depositación. Los sedimentos son laminares a masivos, esporádicos y pueden presentar una silicificación alcanzando una potencia de 10.5m. Presentan diaclasamiento y microfósiles como radiolarios (facies FG5 - FG6 -

FG7). Fácilmente este elemento es atribuido a un ambiente de aguas profundas relacionadas a la formación seca. Existe una predominancia de este el elemento en la zona centro del área de estudio hacia el sureste evidenciando estructuras tipo hummocky hacia su tope indicándonos una somerización o una regresión.

Figura 5.6 Depósitos de bypass.
Fuente: Autores

En el anexo 5 se muestra un resumen de los elementos arquitectónicos interpretados.



Mapa IV. Asociaciones sedimentarias identificadas en el campo y direcciones de paleocorrientes.
Fuente: Autores; López (2016) & Montenegro (2014)

5.2. Bioestratigrafía

5.2.1. Dataciones Radiométricas

De acuerdo a las dataciones tomadas en sedimentitas en la zona de Anconcito, muestras en el campamento Pacoa, así como tobas de la zona de Pacoa, al norte de la Península de Santa Elena se ubica a la secuencia de Punta Ancón en el área de Anconcito como sedimentos depositados durante la edad del Eoceno Medio Medio – Eoceno Medio Tardío, mientras que para las muestras tomadas de Pacoa se registra una edad más antigua. (Montenegro, 2014).

Tabla IV. Dataciones radiométricas.

Datum	*X*	*Y*	*Edad*	*Ubicación*
WGS84 – 17 S	524437	9761492	48.65	Campamento Pacoa
	512173	9741688	43.31	Anconcito
	512171	9742153	43.44	Anconcito
	528721	9766246	~60.0	Toba de Pacoa (edad preliminar)

Fuente: Montenegro (2014)

5.2.2. Icnofacies

En el trabajo de Uchma Wetzel (2011) se caracterizan dos tipos de icnofacies, aquellas referidas a depósitos de origen marino somero y aquellos de origen marino profundo dominados por turbiditas. Además, se distinguen dos grupos diferenciados en relación a su comportamiento y a menudo diferentemente preservados:

a) Aquellos que fueron producidos antes de la sedimentación turbidíticas (pre-deposicional).

b) Aquellos que penetran capas que fueron previamente depositadas (post-deposicional).

Entre las trazas fósiles post deposicionales están: *Chondrites, Nereites, Ophiomorpha, Paleophycus, Phycosiphon, Planolites, Skolithos, Thalassinoides, Zoophycos*, entre otros. La mayoría de las trazas pre-deposicionales se describen como trazas fósiles altamente organizadas y utilizadas generalmente como galerías permanentes para vivir y para producir o atrapar comida, a lo cual Fuch denominó en 1895 *graphoglyptids* (Uchma Wetzel, 2011).

5.2.2.1. Casos análogos

En la Fm. Rosario (Baja California, México), trazas de tipo *Thalassinoides* y *Ophiomorpha* y madrigueras verticales se encuentran en depósitos próximos al canal (*Channel Proximal*), aunque también se evidencian largas trazas horizontales de *Cruziana* (*Thalassinoides*) en zonas cercanas al canal (*Proximal-Channel*). Se reportan alrededor de un 35% de trazas fósiles con madrigueras horizontales en zonas cercanas al canal (*Proimal-Channel*) y decrecen a un 10% en las zonas distales del canal (*Channel-Distal*) donde además son raras las madrigueras verticales. En depósitos distales al canal (*Channel-Distal*) son menos frecuentes estructuras bioturbadas debido probablemente a que en las zonas cercanas al canal existe un enriquecimiento de oxígeno y nutrientes (Kane et al., 2007).

Trazas fósiles como Zoophycus*, Phycosiphon* y *Chondrites*, se encuentran asociados generalmente a depósitos de pendiente por debajo del *upper shoreface* (Frey et al., 1990). Nerites (*Ophiomorpha rudis*) ichnosubfacie, se asocian a capas de gran espesor en depósitos de canal y *proximal-levee* (*Channels & Proximal Levee*) en sistemas turbidíticos (Uchman, 2009).

Las icnofacies de *Nereites* y *Cruziana* ocurren dentro de un amplio rango batimétrico, probablemente sedimentos de la formación Kamchia, fueron depositados en un ambiente offshore o más profundo asociados a capas de

areniscas de tormentas y a sedimentación de fondo oceánico donde posiblemente las corrientes de tormentas transportaron los sedimentos desde la plataforma hacia zonas más profundas o marino profundo (Uchman & Tchoumatchenco, 2003).

5.2.2.2. Icnofacies en Anconcito

De acuerdo a lo evidenciado en campo y a datos adquiridos por (Montenegro, 2014), en el área de Anconcito se encuentran trazas como *Thalassinoides* que se presentan en forma de galerías verticales y horizontales rellenas por arenisca fina a gruesa, *Glossingungites* en los cuales son comunes estructuras en forma de U, icnofacies de tipo pelágico como *Zoophycus*, *Planolithes, Thalassinoides*, trazas en sedimentos retrabajados como *Planolithes* que se atribuyen a ambientes más profundos. También están presentes icnoespecies como *Thalassinoides*, *Skolithos*, *Ophiomorpha* y *Paleophycus* e icnofaunas asociadas a sistemas turbidíticos como *Skolithos*, *Diplocateriom* y *Ophiomorpha* (Montenegro, 2014).

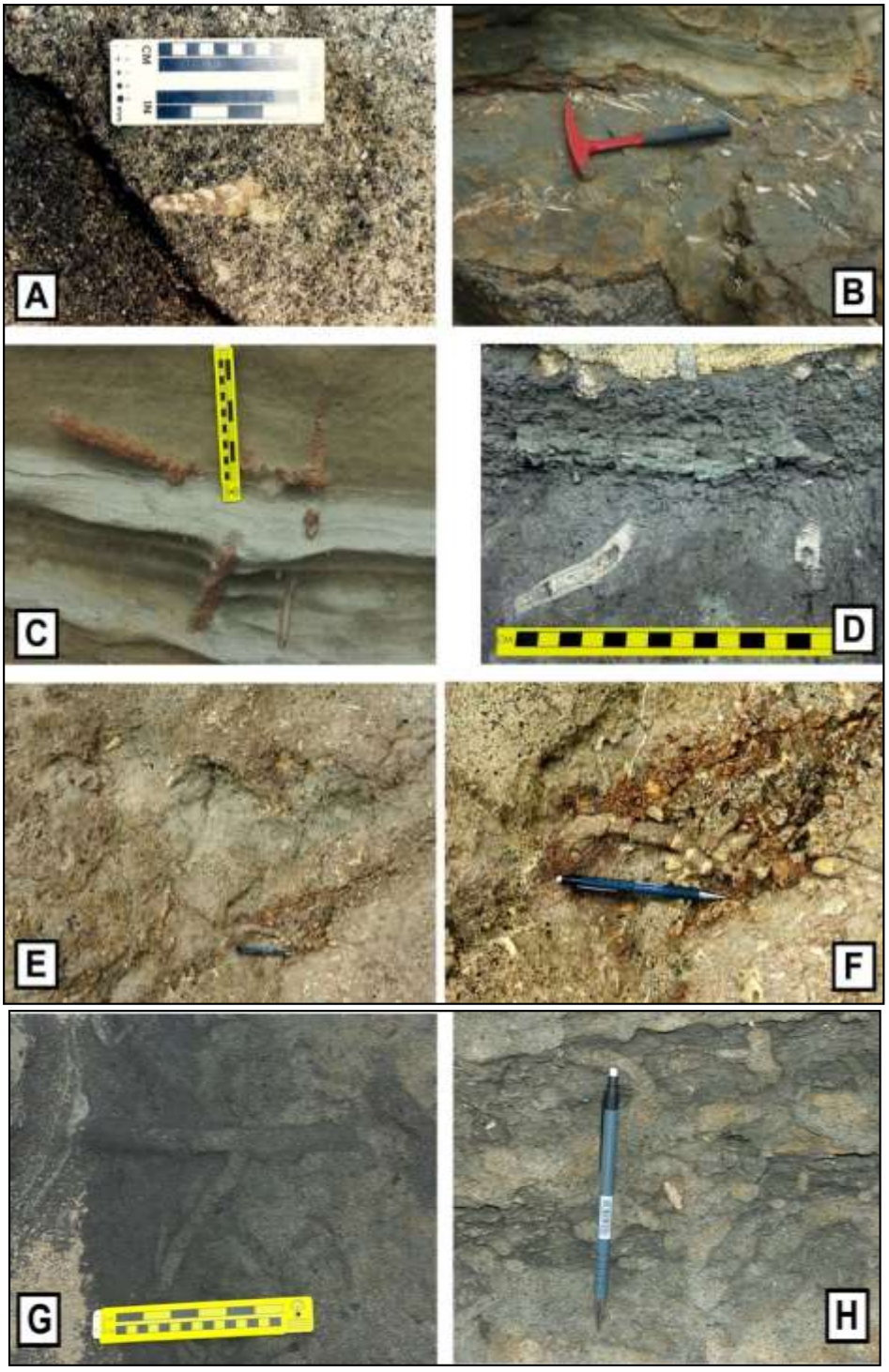


Figura 5.7 Icnofacies encontrados en sedimentitas de la Formación Punta Ancón.
Fuente: Galo Montenegro (2014).

Se evidenció, además, fósiles de *Turritelidos* de *Anconia sp*. en arenisca masiva sin estratificación, con una preservación pobre del material calcáreo (Figura 5.7b). De acuerdo a lo reportado por Montenegro (2014), estos mismos fósiles fueron encontrados en otras litologías como pelitas y conglomerados.

Siguiendo lo presentado por Uchma Wetzel (2011), en el área se evidencian trazas fósiles que se encuentras en el grupo post-deposicional, es decir facies que fueron formadas luego de la depositación turbidítica.

Con respecto al ambiente de depositación, no se encuentra una tendencia clara del tipo de ambiente, ya que se encuentran icnofacies que podrían pertenecer a ambientes de origen marino somero, pendiente o marino profundo. La ocurrencia de ellas en el mismo sitio puede ser explicada por la intervención de medios externos como tormentas u otras corrientes inducidas por la gravead (Corrientes turbidíticas) que pueden transportar marcadores traza desde la plataforma hacia las zonas más profundas. Según Uchma Wetzel (1985) un análisis icnotaxonómico a marcadores traza como *Ophiomorpha rudis* puede mostrar diferencias en los niveles de icnoespecies entre las formas “marino somero” o (Deep ´shallow water´) y las que son verdaderamente fósiles trazas de plataforma.

En conclusión, Las facies icnológicas no permiten hacer una evaluación concreta del tipo de ambiente, ya que la mayoría de ellas se encuentran relacionadas a sistemas turbidíticos y su procedencia es de mucha discusión.

5.2.3. Modelo de Depositación

Los elementos arquitectónicos definidos mediante las observaciones en campo han permitido relacionar las secuencias típicas como rellenos de morfologías submarinas, las cuales se definieron a partir del picado de líneas sísmicas y se han relacionado a dos elementos estructurales mayores que corresponden a un cañón submarino y una microcuenca confinada.

5.2.4. Relleno de Caños Submarino

Las evidencias en campo tales como flujos cohesivos de deslizamiento y slumps, turbiditas de alta y baja densidad, además de la poca presencia de sedimentos hemipelágicos son características destacadas en rellenos de cañones submarinos (Galloway, 2012) y se encuentran muy evidenciadas en el área de Anconcito.

En el área de los acantilados de Anconcito los estratos revelan una orientación promedio al NO que evidencian que las secuencias más antiguas se encuentran hacia el Oeste de la línea de costa. De base a tope se pueden

evidenciar los siguientes elementos arquitectónicos para el área de Anconcito:

5.2.4.1. Evolución de llenado del cañón

Los sedimentos depositados en el área de Anconcito comienzan con una secuencia de flujos de alta densidad de areniscas (Sandy Debris Flows) con laminaciones de carbón, conglomerados con clastos lutíticos y carbón que podría corresponder a las fases iniciales del llenado erosivo del cañón (Ver columna 1 de anexos). Según Montenegro (2014) el carbón tiene un alto grado de maduración y corresponden a inertitas. Cabe señalar que todos los depósitos como debris y slumps se han clasificado dentro de los depósitos de transporte en masa (MTD).

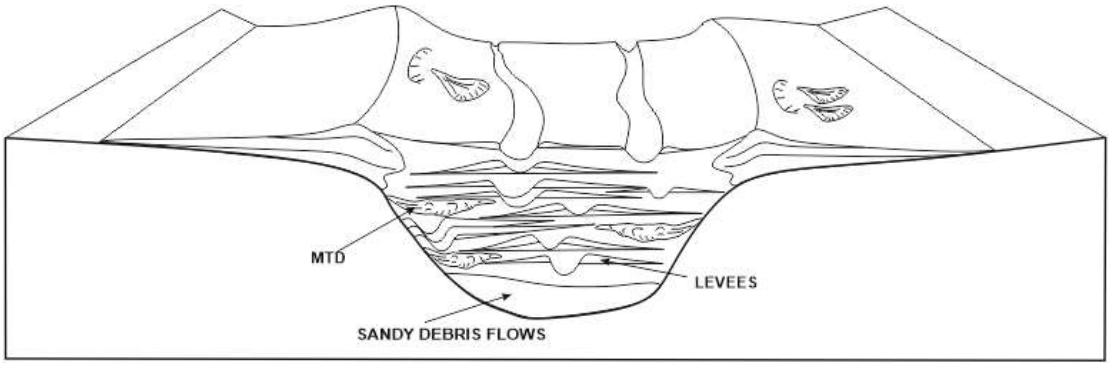


Figura 5.8 Modelo Paleogeográfico propuesto para el área de Anconcito – Relleno de cañón submarino.
Fuente: Autores

Sobre esta secuencia se pueden observar facies de relleno de canal, depósitos de desbordamiento (Overbank Deposits), levee proximal, levee

distal, levee proximal que se podría interpretar como migración del eje del canal, depósitos de levee (ver columna 2 de anexos) frecuentemente se encuentran alternados con depósitos de transporte en masa (MTD), que podrían corresponder a derrumbes laterales del cañón (Janocko et al., 2013).

En zonas adyacentes a la zona del cañón se observan grandes depósitos de slumps que podrían corresponder a desestabilizaciones de las paredes del cañón.

5.2.4.2. Discusión

Las evidencias en campo para el área de Anconcito revelan que existe gran cantidad de material arenoso con abundancia de material retrabajado como conchas y carbón además se evidencia poca presencia de sedimentos finos hemipelágicos.

Encontrar materiales como conchas y carbón hacen pensar que podríamos estar en una zona más somera de plataforma o una zona intertidal hasta continental, por otro lado, están presentes en secuencias hemipelágicas foraminíferos de origen marino profundo (Ordoñez et al., 2006). Si tomamos como punto de partida las secuencias que se depositan actualmente dentro del margen costero ecuatoriano se podría tener una mejor idea de lo que

pudo haber dominado en la depositación de las secuencias Eocénicas del Grupo Ancón.

Los modelos básicos de estratigrafía secuencial indican que preferencialmente las incisiones de cañones submarinos y la depositación de turbiditas de grano grueso toman lugar predominantemente durante los tiempos de bajo nivel del mar (*Sea Level Lowstand*) cuando las zonas de plataforma continental están subarealmente expuestas y cantidades voluminosas de sedimentos son transportados a los bordes de plataforma por medio de ríos submarinos (Di Cantalamessa et al., 2010). Estos modelos son aplicados generalmente en márgenes pasivos, mientras que, en márgenes activos, la variabilidad de la geomorfología submarina dominada por la alta actividad tectónica forma altos estructurales que controlan la depositación de las secuencias en este tipo de cuencas (Moore et al., 2003).

Jaillard et al (2013), describe a las secuencias del Grupo Ancón como secuencias depositadas durante un (*Transgresive System Track)*, es decir durante un periodo de aumento relativo del nivel del mar, lo cual podría considerarse como condiciones no favorables para la formación de cañones submarinos. Sin embargo, Janocko et al (2013) sugieren que los rellenos de morfologías submarinas no necesariamente podrían estar relacionados a cambios de nivel del mar o que los cañones incisos fluviales se formen necesariamente por regresión forzada, sino que sugiere que estos depósitos

resultan de manera similar de un reajuste en el perfil morfométrico, que podría darse por altos técnicamente activos. En algunos casos la arena puede venir directamente de sistemas de ríos por flujos hiperpícnicos cuando los ríos se inundan (Posamentier & Kolla, 2003). Además, cañones submarinos desarrollados en márgenes activos son bastante comunes, aunque pueden formarse desde la plataforma o desde el borde de pendiente (Di et al., 2010), lo cual requiere un análisis más detallado para reconocer el ambiente donde se localiza dicha morfología submarina.

En conclusión, se propone el modelo de relleno de cañón submarino para la zona de Anconcito por las siguientes razones:

a) Abundancia de arenas y en menor proporción sedimentos pelágicos.
b) Mayor evidencia de estructuras de flujos de alta densidad y flujos de débris.
c) Mayor cantidad de sedimentos retrabajados como carbón y conchas en depósitos sheet-like.

Las sucesiones en mar profundo de este tipo de estructuras han sido observadas por (Moore et. al., 2003) donde comprenden debris Flows a la base sobreyaciendo por depósitos de turbiditas y subsecuentemente cubierto por otra sección de debris flows similar a lo evidenciado en las secuencias del área de Anconcito como facies de relleno de cañón.

5.2.5. Relleno de cuenca confinada

Esta estructura regional se la definió para las secuencias depositadas a lo largo de los acantilados de Ancón. Dentro de estas secuencias se evidencia gran cantidad de material fino como lutitas y areniscas muy finas donde los estratos tienen una dirección de buzamiento preferencialmente hacia el este, por lo cual se establece que lo más antiguo se encuentra hacia el NW de la línea de costa y lo más joven hacia el SE.

Tomando en cuenta lo anterior, el relleno comienza por levees distales intercalados por MTDs, levees proximales, rellenos de canal y levees distales. A continuación, se muestra un modelo propuesto que describe brevemente los elementos arquitectónicos y las formaciones a las que están vinculados:

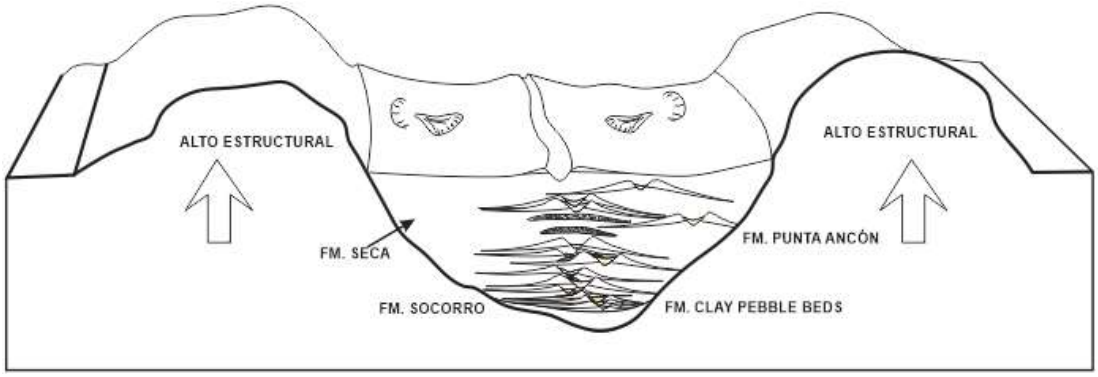


Figura 5.9 Modelo Paleogeográfico propuesto para el área de Ancón– Relleno de Cuenca Confinada.
Fuente: Autores

En la línea sísmica de la Figura 5.11 se pueden observar estos dos altos estructurales que al parecer se encontraron tectónicamente activos durante la depositación de los sedimentos que rellenaron la cuenca evidenciado por la tendencia sinsedimentaria de los reflectores.

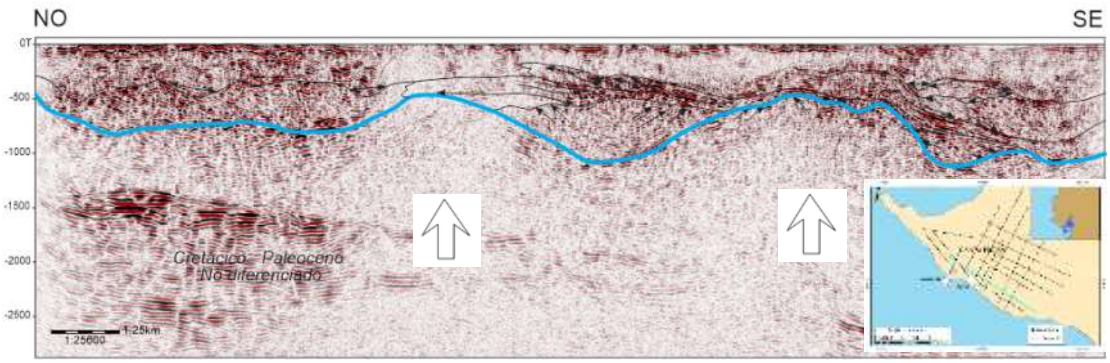


Figura 5.10 Interpretación sísmica en tiempo de línea representativa de cuenca confinada.
Fuente: Autores

5.2.5.1. Discusión

Las evidencias en campo para el área de Ancón revelan una gran cantidad de sedimentos finos a lo largo de los acantilados, se evidencia material retrabajado como clastos de carbón en pequeñas proporciones solo en las facies canalizadas.

Por otro lado, en la interpretación sísmica se puede evidenciar una morfología elongada (las zonas bajas de la interpretación – color morado - ver Mapa III) que se encuentra a la altura de los acantilados de Ancón, este tipo de cuencas elongadas son comunes en zonas de talud inferior dentro de un margen activo de subducción compleja (Uchman & Bachman, 1982) y los

altos que bordean el bajo podrían haber estado tectónicamente activos durante la formación de la cuenca evidenciada por la orientación de los reflectores sísmicos (Ver Figura 5.11).

Jaillard et al (1995) en sus conclusiones agrega que la costa sur es una zona muy activa donde la historia de múltiples acreciones puede presumiblemente formar cuencas estructurales dentro de las cuales, secuencias de plataforma o pendiente pueden acumularse, esto relacionado a erosión tectónica como respaldo para sustentar los altos y bajos estructurales (por tectónica activa) como lo que se puede apreciar en la actualidad en ciertas zonas del margen costero del Ecuador.

En conclusión, se propone un modelo de cuenca confinada por las siguientes razones:

a) Predominancia de sedimentos finos en toda el área de los acantilados de Ancón.

b) Material retrabajado como clastos de carbón son evidenciados solo en facies de canalizaciones.

c) Las facies se ajustan al modelo de Uchman & Bachman como relleno de cuencas confinadas de talud, es decir se evidencian abundancia de depósitos hemipelágicos, turbiditas de baja densidad, debris flows que contienen bloques que podrían corresponder a partes del complejo de acreción.

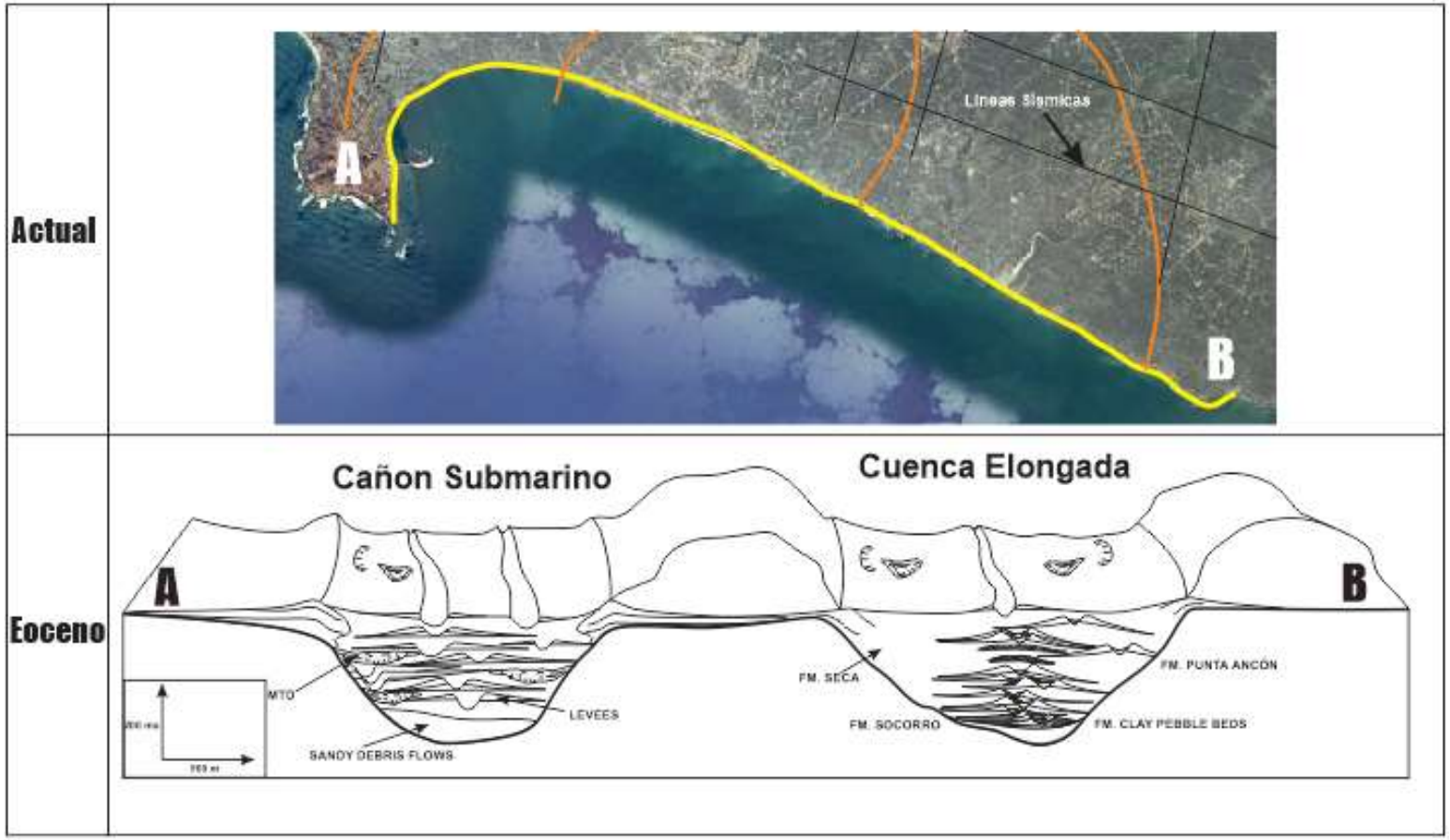


Figura 5.11 Modelo conjunto del sistema Cañón - Cuenca para el área de estudio.
Fuente: Autores

5.3. Análisis Regional

La controversia que existe sobre si las secuencias eocénicas del grupo Ancón fueron depositadas en un ambiente de plataforma o talud es uno de los puntos de mayor discusión dentro del área de estudio. En el presente trabajo se propone un modelo de depositación siguiendo estrechamente el trabajo de Uchman & Bachman para cuencas de talud en márgenes activos de subducción compleja y se ha tomado como modelo análogo la cuenca Shikoku, Japón (Moore et. al., 2003).

De acuerdo al Mapa III que corresponden a la interpretación sísmica en tiempo de la base del Eoceno Medio se pueden evidenciar altos y bajos estructurales que podrían representar la compleja morfología submarina durante el Eoceno Medio, es notable precisar que el Mapa III corresponde a la interpretación del horizonte en tiempo correspondiente al Eoceno Medio, es decir que para la interpretación no se tomó en cuenta el aspecto estructural, es decir, no está reconstruido al momento de depositación.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede apreciar claramente una forma elongada del bajo estructural que podría corresponder a una cuenca de talud según el modelo de Underwood & Bachman Bachman (1982) (Ver Figura 5.12). Además, según este modelo conceptual se puede diferenciar a las cuencas maduras o inmadura de acuerdo a su contenido de material

sedimentario. La gran cantidad de material fino observado en el área de los acantilados de Ancón permite especular que esta cuenca se encontraría en una zona de talud inferior, esto debido a que los sedimentos más gruesos pudieron haber sido interceptados por altos estructurales y cuencas de talud superior, por lo cual sedimentos de grano grueso no pudieron alcanzar zonas de mayor profundidad o de talud inferior (Underwood & Bachman, 1982).

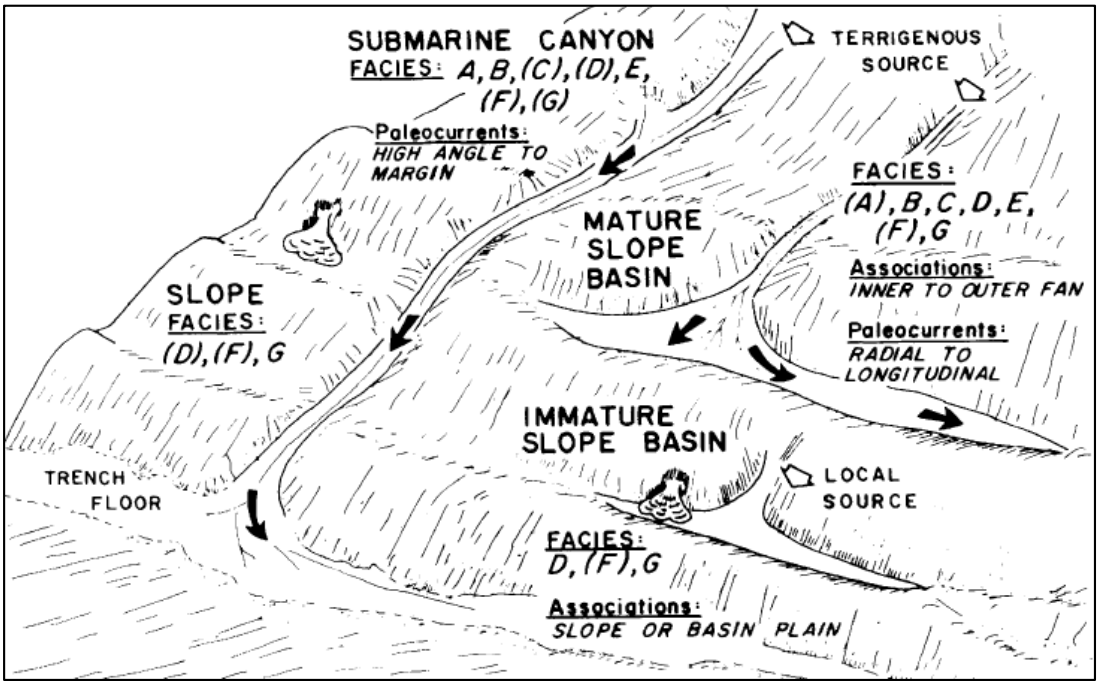


Figura 5.12 Diagrama conceptual de facies sedimentarias para una configuración Fosa-Talud.
Fuente: Underwood & Bachman (1982)

La posibilidad de que sedimentos gruesos alcancen una cuenca de pendiente inferior está ligada a la distancia que existe entre talud y fosa, es decir, mientras sea mayor la distancia Talud-Fosa la probabilidad de que sedimentos gruesos alcancen cuencas de talud inferior disminuye.

Ahora, siguiendo el modelo conceptual, se puede distinguir cañones submarinos que sirven como conductos de fuentes terrígenas, que para el presente estudio representaría el medio por el cual sedimentos como carbón y conchas alcanzaron zonas más profundas, esto es sustentado por la direccionalidad que muestra el carbón y por la orientación de las conchas según lo declaró Benítez (Ver Figura 4.1d; Figura 5.3c;d; Figura 5.7b).

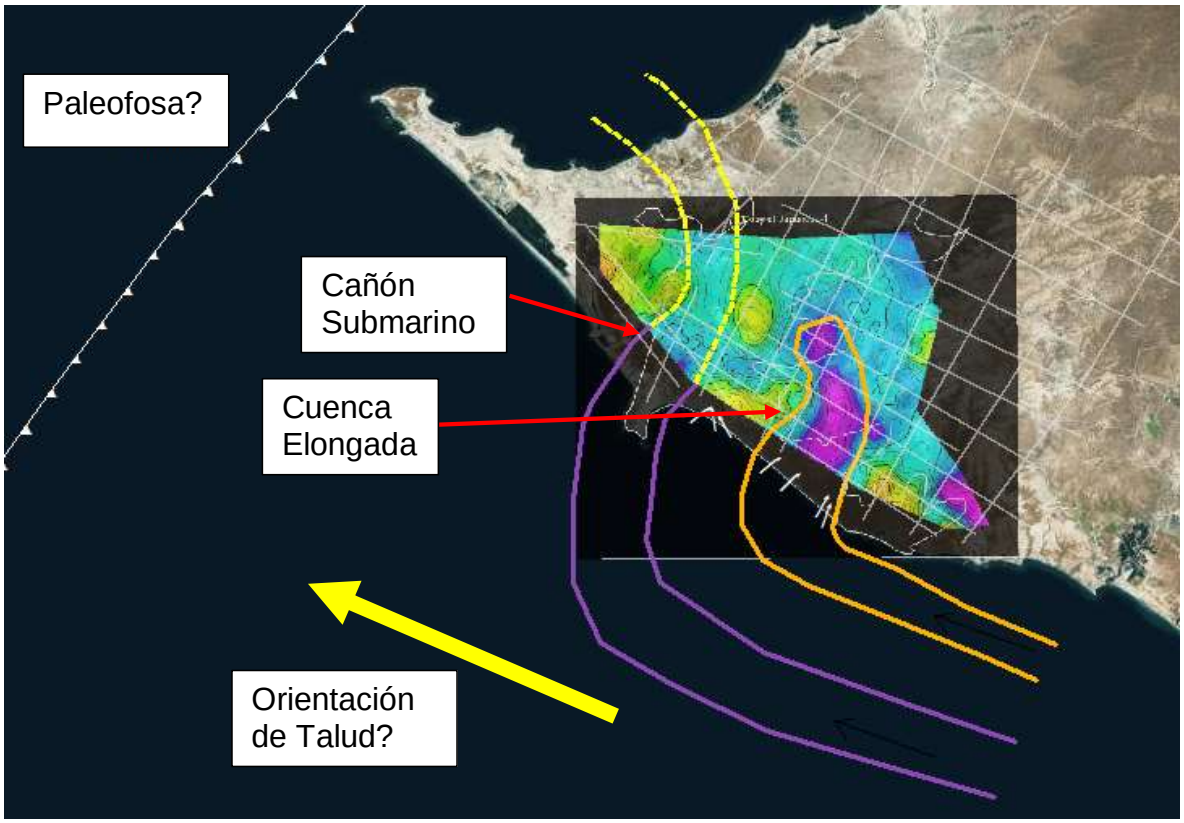


Figura 5.13 Modelo regional propuesto para los depósitos del Grupo Ancón - Eoceno.
Fuente: Autores

Como se mencionó anteriormente, en sísmica se definieron dos estructuras regionales principales y que por lo evidenciado en campo se relacionan al relleno de cuenca y cañón siguiendo el modelo de Underwood & Bachman.

La continuidad del cañón hacia el norte se la asocia a la idea de que en Ballenita se encuentran depósitos de carbón y conchas similares a lo evidenciado en los acantilados de Anconcito, mientras que según lo observado en sísmica se puede apreciar un cierre de las líneas de cota del bajo estructural y se lo relaciona a la geometría de una cuenca elongada confinada según el modelo de Underwood & Bachman.

Como conclusión de este análisis se tienen dos depósitos principales dentro del área que corresponden a un relleno de cañón submarino y a un relleno de cuenca confinada, en una configuración posiblemente de Talud Inferior evidenciado por la gran cantidad de sedimentos finos dentro de los depósitos de relleno de cuenca (Underwood & Bachman, 1982), además de grandes zonas de slumping y por la presencia de microfósiles característicos de zonas marino profundo (Ordoñez et al., 2006). Por lo tanto, se propone una ubicación de la palaeofosa para este tiempo cercana a las estructuras definidas en este estudio, ya que se encontrarán de acuerdo al modelo conceptual en un ambiente de Talud posiblemente la parte Inferior.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Las secuencias que pertenecen a las formaciones del Grupo Ancón se han relacionado a elementos estructurales de la siguiente manera: facies de levees proximal o distal, para las secuencias de areniscas finas con intercalación de limolitas o ciertas secuencias de areniscas de grano mayor, las cuales se han interpretado como depósitos de desbordamiento (Overbank) y según su litología se relacionan a depósitos de la formación Socorro, mientras que las secuencias de grano más fino como limolitas a areniscas muy finas y turbiditas tipo Tde o Tcde que corresponden a levees distales y zonas de Bypass se relacionan a secuencias de la formación Seca. Las secuencias de la Formación Clay Pebble Beds se relacionan a depósitos de transporte en masa, deslizamientos submarinos o debris flows de relleno de cañón.

La zona de Ancón muestra en general una proporción menor de arenas que las secuencias observadas en Anconcito, lo cual justifica que para esta zona las secuencias probablemente constituyen facies de relleno de cañón submarino, mientras que para la zona de Ancón corresponderían a secuencias que rellenaron una microcuenca posiblemente en una zona de Talud.

La zona de Anconcito muestra una mayor proporción de arenas, mayor contenido de material retrabajado como carbón, conchas asociadas a un transporte directo de las zonas proximales hacia zonas más profundas a través de un cañón submarino, mientras que en Ancón se observa mayor cantidad de sedimentos finos, menor cantidad de carbón (Solo en canales) asociadas a depósitos de relleno de cuenca.

Las facies de organismos como conchas, huellas fósiles probablemente pueden ser retrabajadas por flujos turbidíticos de alta densidad o flujos hiperpícnicos según lo descrito por (Montenegro, 2014).

Las diferencias en la depositación de sedimentos y la cantidad de material retrabajado diferenciado en las zonas de Anconcito y Ancón permitieron interpretar estas secuencias en dos modelos estructurales de cañón y cuenca confinada respectivamente.

La gran cantidad de material fino dentro de lo que se interpretó como relleno de cuenca de acuerdo al modelo de Underwood & Bachman (1982), además de las zonas de grandes slumping dentro de las secuencias de los acantilados de Ancón sustentan que estos depósitos se encuentran dentro de un margen de talud continental.

Dentro de un análisis regional se propone un modelo tectónico de margen activo dentro de un sistema de subducción complejo cuya sedimentación está dominada por altos estructurales tectónicamente activos de acuerdo al modelo propuesto por Underwood & Bachman (1982).

Rocas dentro de secuencias de slumping muy similares a rocas del grupo azúcar se interpretaron como secuencias Paleocénicas del Grupo Azúcar que pudieron pertenecer a un complejo de acreción que fueron posteriormente desgarradas por deslizamientos submarinos y depositadas en zonas topográficamente positivas durante el Eoceno Medio.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda extender la investigación hacia las estructuras que se encuentran hacia el Sur de la cuenca donde podrían concentrarse microcuencas que podrían significar importantes para futuras exploraciones hidrocarburíferas.

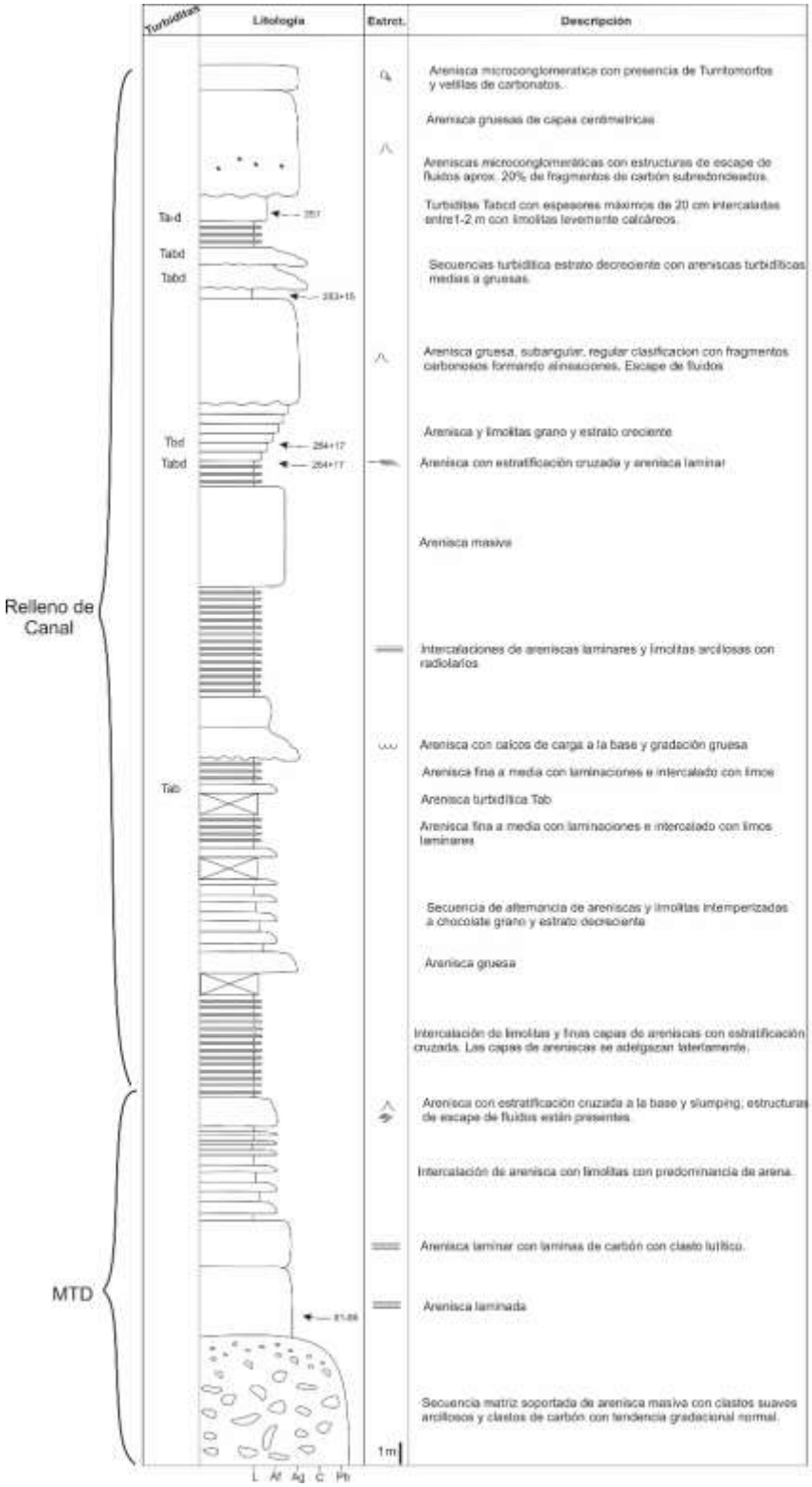
Realizar un estudio petrográfico de las rocas en el área de estudio, para conocer la proveniencia de estos sedimentos.

Es necesario conocer más a fondo las estructuras en el subsuelo, por eso se recomienda realizar una análisis sísmico-estratigráfico más a detalle de la zona (Estratigrafía sísmica secuencial).

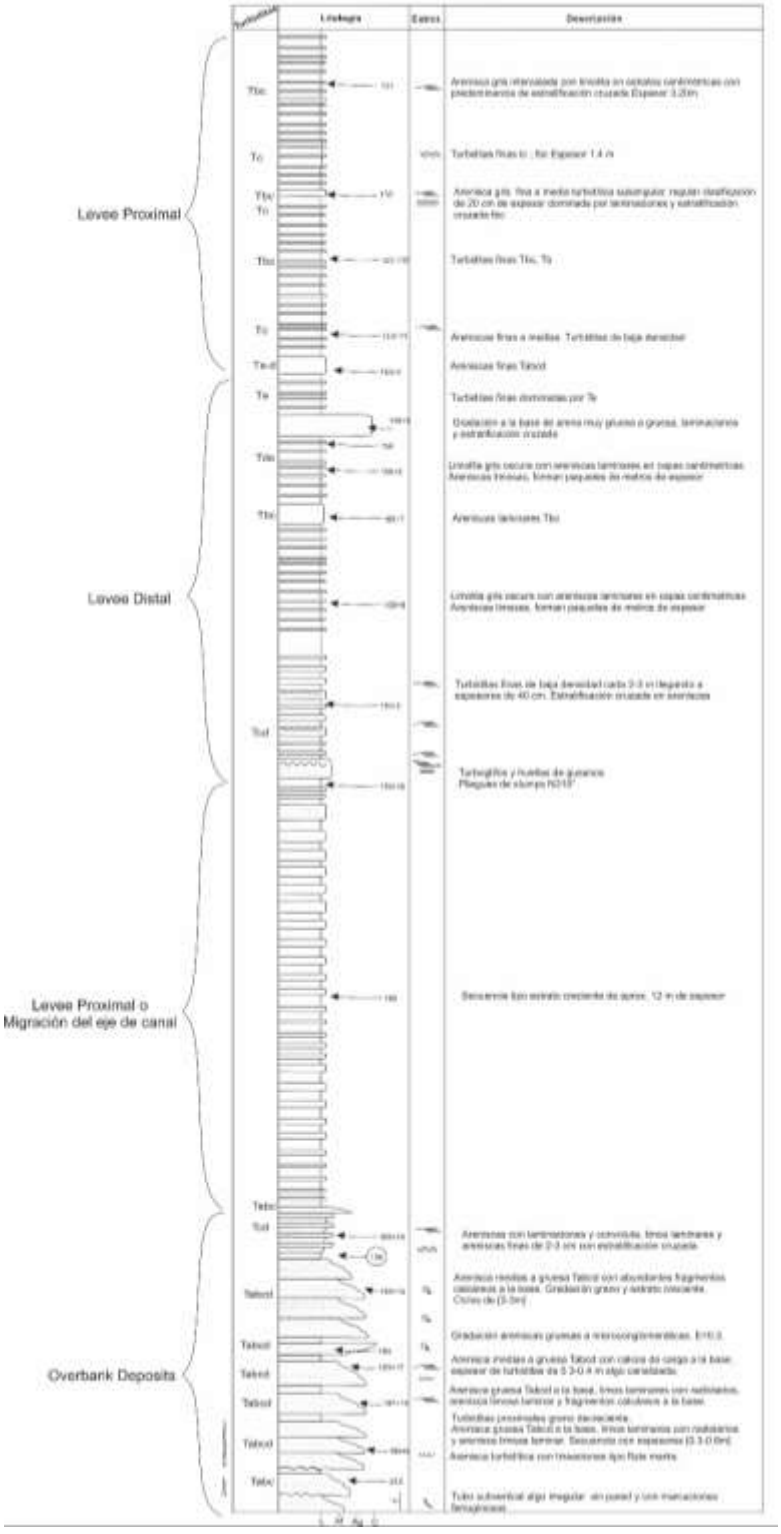
Se recomienda realizar un análisis de paleocorrientes más a detalle para determinar la orientación de depositación de los sedimentos. En el presente estudio solo se tomaron algunas medidas de paleocorrientes y otras fueron medidas por el Ing. Galo Montenegro en estudios previos.

ANEXOS

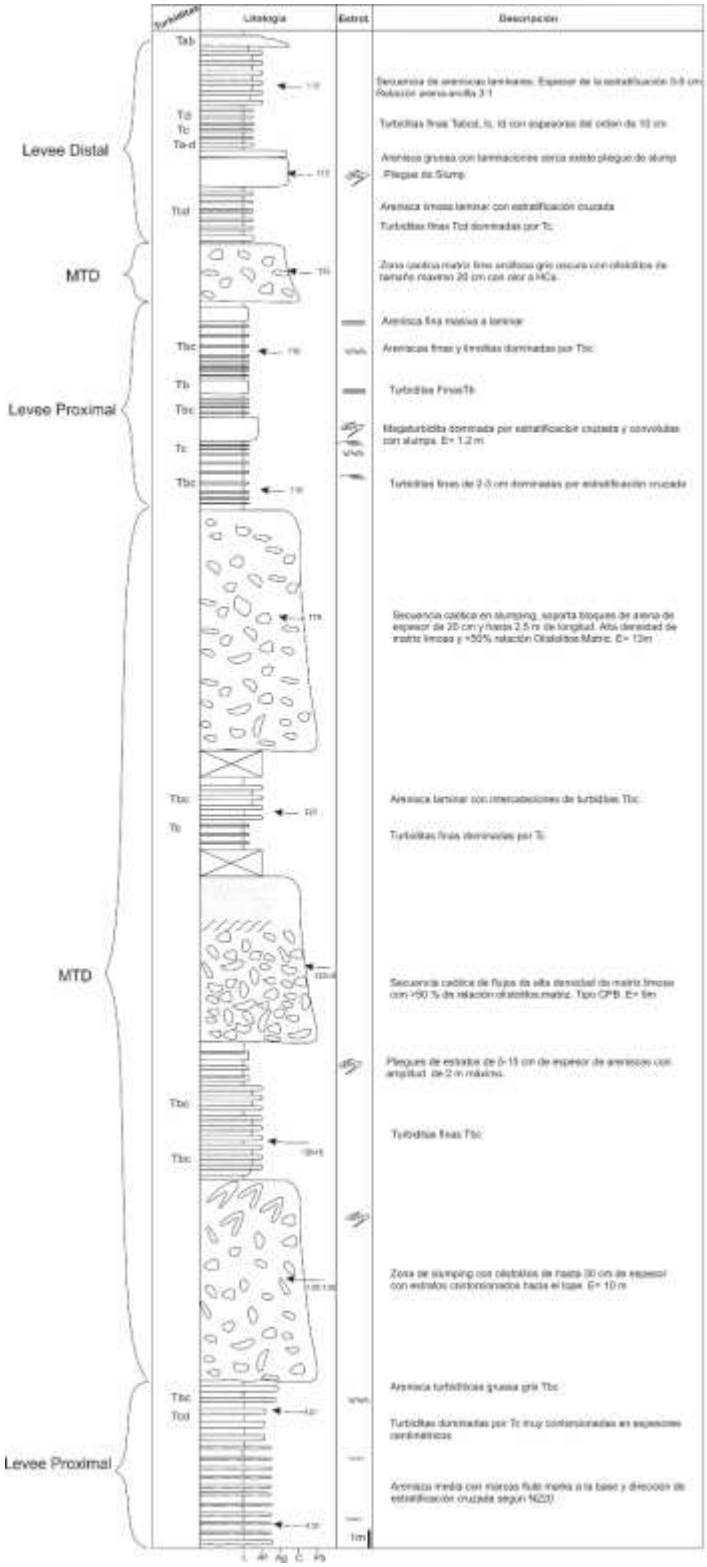
Anexo 1. Columna correspondiente a la zona de Punta Anconcito



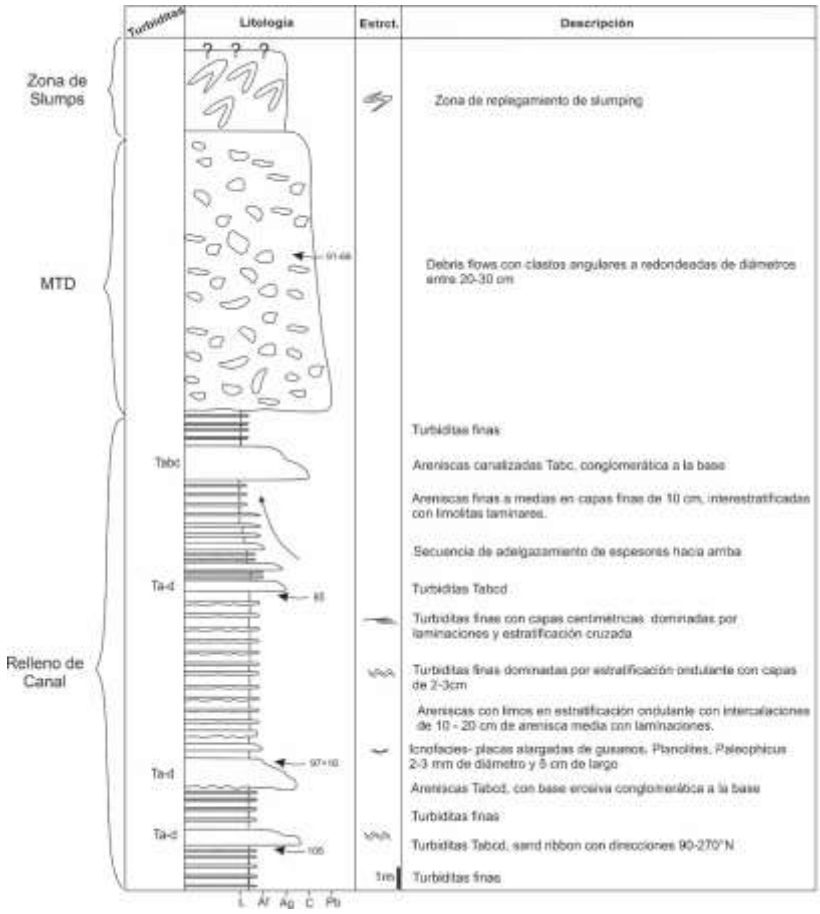
Anexo 2. Continuación de la columna anterior - zona de Anconcito



Anexo 3. Columna hacia el NE de Punta Ancón



Anexo 4. Continuación de la zona anterior



Anexo 5. Resumen de los elementos arquitectónicos interpretados

Asociación	Descripción	Proceso depositacional	Tipo de flujo	Comparación con otros estudios
Mud Debris Flows	Guijas de areniscas en matriz arcillosa a limo arenosa fina (FG1) con repliegues de slumps (FG2), donde a menudo se intercalan con secuencias turbidíticas de arenisca fina y limolitas laminares (FG5). Guijas de hasta 10 cm de arcilla y arenisca subredondeada. Presencia de Diplocaterion (ofiomorfos), condrites sp. en ocasiones fragmentos de carbón o bloques de areniscas con laminaciones carbonosas. Areniscas masivas (FG3) al tope probablemente facies de canal.	Asociado a desprendimiento de derrumbe	Flujos cohesivos	(Shanmugam, 1996). (Janocko & Asa, 2013); (Lowe, 1982); (Kane & Kneller, 2007; Khan & Arnott, 2011); (Khan & Arnott, 2011)

Slump Deposits	Secuencias de facies replegadas en slump de areniscas y limos (FG2). Areniscas con estratos turbidíticos Tbc (FG9) replegados. Existe una gradación entre los depósitos de slump y los flujos cohesivos de débris.	Slumping aparentemente de corta vida por deslizamientos de pocos metros	Congelamiento por fricción	(Posamentier & Kolla, 2003), (Janocko & Asa, 2013)
MTD	Zona caótica de flujos de detritos con diámetro máximo de 30 cm, slumping retrogresivo (FG2), presencia de pelecipodo transportado. Mala clasificación de tamaño y redondez, estratos esporádicos de areniscas disturbadas (FG1).	Desprendimiento en masa	Flujos cohesivos, congelación por fricción	(Janocko & Asa, 2013); (Lowe, 1982)
Channel-fill	Secuencia turbidítica Tbc que aumentan de tamaño y espesor hacia arriba, entre 1 y 3 metros. (FG 9) Arenisca gruesa guijarrosa a la base sin estructura interna (FG3), al parecer se encuentra sobreyaciendo el MTD.	Corrientes de turbidez de baja densidad	Depositados por suspensión y sedimentación por tracción	(Lowe, 1982); (Paul Weimer, Roger M Slatt, 2004); (Abstracts, 2011)

Levee Proximal	Areniscas turbidíticas Tab con secuencias de areniscas laminares con intercalaciones de limolitas (FG8); relación arena:limo= 3:1, Secuencias de turbiditas finas Tc, Td, turbiditas Ta-d culminan el ciclo.	Corrientes de turbidez de baja densidad	Depositados por suspensión y sedimentación por tracción	(Khan & Arnott, 2011); (Posamentier & Kolla, 2003)
Levee Distal	Secuencias de areniscas Tcd - Tde - Te, (FG7) limolitas gris oscuras con areniscas laminares en capas centimétricas (FG6), areniscas limosas que forman paquetes de metros de espesor (FG5).	Corrientes de turbidez de baja densidad. Asociados a episodios que ocurren al final de la corriente turbidítica.	Depositados por suspensión y sedimentación por tracción	(Kane & Kneller, 2007; Khan & Arnott, 2011); (Janocko & Asa, 2013); (Posamentier & Kolla, 2003)
Sandy Debris Flows	Matriz soportada de arenisca masiva con clastos arcillosos, clastos de carbón. (FG3) Clastos arcillosos de hasta 50 cm de espesor, grandes espesores de areniscas laminadas. Contacto planar entre capas. Se observan arenisca laminada de grano medio con carbón laminado (FG4) poco continuo.	Sandy debris flow	Congelación por cohesión	(Paul Weimer, Roger M Slatt, 2004); (Lowe, 1982)

Depósitos de desbordamiento	Secuencias turbidíticas Tabcd (FG8) y Tcd con capas de espesores que van de 30 a 60 cm, las turbiditas gradan de areniscas de grano grueso-medio Ta-d a areniscas finas dominadas por Tcd (FG7).	Turbiditas de baja densidad	Depositados por suspensión y sedimentación por tracción	(Posamentier & Kolla, 2003); (Khan & Arnott, 2011)

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, R., Alemán, A., Ordoñez, M., & Montenegro, G. (2009). Evolución Tectonoestratigráfica y Sistema Petrolífero de la Cuenca Progreso en Ecuador y Perú, 1–12. Retrieved from http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=44590.

2. Benítez, S. (1995). Evolución geodinámica de la provincia costera surecuatoriana del Cretácico superior - Terciario. Geología Alpina. https://doi.org/1995\r95 gre1 0071

3. Collinson, J. D. (1969). The sedimentology of the Grindslow shales and the Kinderscout grit; a deltaic complex in the Namurian of northern England. Journal of Sedimentary Research, 39(1), 194–221. https://doi.org/10.1306/74D71C17-2B21-11D7-8648000102C1865D

4. Dumont, J. F., Santana, E., Valdez, F., Tihay, J. P., Usselmann, P., Iturralde, D., & Navarette, E. (2006). Fan beheading and drainage diversion as evidence of a 3200-2800 BP earthquake event in the Esmeraldas-Tumaco seismic zone: A case study for the effects of great subduction earthquakes. Geomorphology, 74(1–4), 100–123. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.011

5. Gonza, T. (2015). Interpretación Estratigráfica y Estructural del Área de Transvaal y Navarra, Mediante Registros Eléctricos y Sísmica 3D, Península de Santa Elena. EPN.

6. Jaillard, É., Ordoñez, M., Benitez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G., & Zambrano, I. (1995). Basin Development in an Accretiona y, Oceanic- Floored Fore-Arc Setting: Southern Coastal Ecuador During Late Cretaceous-Late Eocene Time. AAPG Memoir, 62, 615–631.

7. Kane, I. A., Kneller, B. C., Dykstra, M., Kassem, A., & McCaffrey, W. D. (2007). Anatomy of a submarine channel–levee: An example from Upper Cretaceous slope sediments, Rosario Formation, Baja California, Mexico. Marine and Petroleum Geology, 24(6), 540–563. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2007.01.003

8. KNELLER, B. C., & BRANNEY, M. J. (1995). Sustained high-density turbidity currents and the deposition of thick massive sands. Sedimentology, 42(4), 607–616. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1995.tb00395.x

9. López, C. (2016). Análisis Estructural de la Cuenca Progreso en el Paleógeno. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

10. Lowe, D. R. (1982). SEDIMENT GRAVITY FLOWS : II. DEPOSITIONAL MODELS WITH SPECIAL REFERENCE TO THE DEPOSITS OF HIGH-DENSITY TURBIDITY CURRENTS I A reasonably clear picture has emerged in recent years of the gravity-driven processes that deliver and redistribute coarse sedim, 52(1).

11. Marchant, S. (1956). Studies in the revision of the geology of the Ancon area.

12. Montenegro, G., & Loor, B. (1988). Informe Geológico de los Acantilados de Ancón entre Anconcito y Punta Mambra.

13. Nichols, G. (2009). Sedimentology and stratigraphy. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

14. Nocquet, J., Chlieh, M., Mothes, P. A., Rolandone, F., Jarrin, P., Cisneros, D., Yepes, H. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes, (March). https://doi.org/10.1038/NGEO2099

15. Núñez del Arco, E. (2003). Geología del Ecuador. Guayaquil: ESPOL.

16. Ordoñez, M., Jiménez, N., & Suárez, J. (2006). Micropaleontología Ecuatoriana. Centro de Investigación Geológica de Guayaquil.

17. Payton, E. (1976). Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration (Vol. 26). American Association of Petroleum Geologists. https://doi.org/10.1306/m26490

18. Posamentier, H. W., & Kolla, V. (2003). SEISMIC GEOMORPHOLOGY AND STRATIGRAPHY OF DEPOSITIONAL ELEMENTS IN DEEP-WATER SETTINGS.

19. R. M. Mitchum Jr., P. R. V. , J. B. S. (1977). Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level: Part 6. Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences: Section 2. Application of Seismic Reflection Configuration to Stratigraphic Interpretation, 165, 117–133.

20. Reading, H. G. (2002). Sedimentary environments : processes, facies, and stratigraphy. Blackwell Science.

21. Reyes, P. (2013). Évolution du relief le long des marges actives: átude de la déformation plio-quaternaire de la cordillere cotiere d'équateur. Nice Sophia Antipolis.

22. Shanmugam, G. (2000). 50 years of the turbidite paradigm (1950s—1990s): deep-water processes and facies models—a critical perspective. Marine and Petroleum Geology, 17(2), 285–342. https://doi.org/10.1016/S0264-8172(99)00011-2

23. Shanmugam, G. (2006). Deep-Water Processes and Facies Models: Implications for Sandstone Petroleum Reservoirs. Elsevier. Retrieved from http://store.elsevier.com/Deep-Water-Processes-and-Facies-Models-Implications-for-Sandstone-Petroleum-Reservoirs/G_-Shanmugam/isbn-9780444521613/

24. Sheppard, G. (1937). The geology of south - western ecuador. Londres.

25. Sohn, Y. K. (1997). On traction-carpet sedimentation. Journal of Sedimentary Research, 67(3).