

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Estudio sismo – estratigráfico del sector central de la Cuenca de
antearco Progreso al Suroeste del Ecuador.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera en Geología

Presentado por:

Stefanie Sughey Hormaza Barcia

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, pilares fundamentales de mi vida. Gracias a ellos alcancé este logro.

También agradezco a mis hermanos Karem y Carlos, quienes siempre me brindaron una palabra de aliento para seguir mis metas.

No puedo dejar de mencionar a mis tías maternas y primos quienes seguían día a día mis logros y demostraban su amor incondicional hacia mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por darme salud, energías, y vida para alcanzar una meta más en mi vida.

A mis profesores de Geología por sembrar en mí el amor y pasión por esta carrera. En especial al Ing. Galo Montenegro, quién fue un guía durante toda la carrera y sobre todo durante mi presidencia en la AAPG, fue un honor ser su estudiante.

Mis sinceros agradecimiento a Msc. Kenny Escobar y Msc. Carlos Aizprúa tutores de este proyecto por la orientación en el desarrollo de esta tesis.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Stefanie Sugey Hormaza Barcia* doy mi consentimiento para que la ESPOC realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Stefanie Hormaza B.

EVALUADORES

MSc. David Altamirano

PROFESOR DE LA MATERIA

MSc. Kenny Escobar

PROFESOR TUTOR

MSc. Carlos Aizprúa

CO TUTOR

RESUMEN

El Suroeste del Ecuador se encuentra en un contexto morfotectónico influenciado por el bloque alóctono derivado de una provincia ígnea del Caribe que colisionó contra el Norte de Sur de América dando como origen cuencas de antearco en la zona. El presente proyecto de titulación realiza un estudio de la sísmo–estratigrafía de la Cuenca Progreso, ubicada en el Suroeste del bloque Nor Andino y cuyo objetivo es la elaboración de un esquema cronoestratigráfico que permita la definición de la distribución areal y temporal de las rocas reservorio en la zona. Por tal razón los nuevos datos encontrados permitirán la identificación de variaciones estratigráficas. Este estudio se justifica por los cambios tectónicos – geológicos del sector que son evidentes en la sísmica 2D y 3D permitiendo un análisis actual de la cuenca. El presente estudio se basó en la interpretación detallada de perfiles de sísmica 2D derivados a partir de una sísmica 3D de mayor resolución proporcionado por EP Petroecuador. El análisis detallado se lo realizó por medio del software Adobe Illustrator, a través de la identificación de terminaciones de reflectores y facies sísmicas que permitan definir las superficies que conforman las principales unidades sísmicas. En consecuencia, se elaboró el esquema cronoestratigráfico basado en cuatro líneas de estudio que mostraron deposiciones diferentes a las ya establecidas. Como conclusiones en este estudio, se identifica que en la Cuenca Progreso existen cuatro unidades sísmicas con sus edades respectivas, dos altos estructurales que controlan la cuenca y una posible inversión tectónica que se sugiere estudiar a mayor profundidad con las demás líneas procedentes del cubo 3D.

Palabras Clave: Cuenca Progreso, cronoestratigrafía, sísmica 2D-3D, tectónicos.

ABSTRACT

The Southwest of Ecuador is in a morphotectonic context where the allochthonous block derived from an igneous province of the Caribbean Plate had influence that collided with North of the South America, giving rise to antearc basins in the area. This project carries out a study of the seismic - stratigraphy of the Progreso Basin, located in the Southwest of the North Andean block and whose objective is the elaboration of a chrono stratigraphic scheme that allows justified the definition of the areal and temporal distribution of the reservoir rocks. For this reason, the new data found will allow the identification of stratigraphic variations. This study is by the tectonic - geological changes in the sector that are evident in the 2D and 3D seismic, allowing a current analysis of the basin. For this study, 2D seismic derived from a higher resolution 3D cube provided by EP Petroecuador was used. The detail process was made in Adobe Illustrator software through the identification of the reflectors and seismic facies which allow to determinate the surfaces that conform the seismic units. Consequently, the chronostratigraphic scheme was developed based on four lines of study that showed different depositions from those already established. As conclusions in this study, it is identified that in the Progreso Basin there are four seismic units with their respective ages, two structural highs that control the basin and a possible tectonic inversion that it is suggested to study in greater depth with the other lines from the 3D cube.

Keywords: Progreso Basin, chrono stratigraphy, 2D-3D seismic, tectonics

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1 Geología Regional	5
1.4.2 Cuenca Progreso.....	7
1.4.3 Evolución de la Cuenca Progreso	9
1.4.4 Estratigrafía de la Cuenca Progreso.....	12

CAPÍTULO 2	21
2. Metodología	21
CAPÍTULO 3	24
3. Resultados Y ANÁLISIS	24
CAPÍTULO 4	34
4. Conclusiones Y Recomendaciones	34
BIBLIOGRAFÍA.....	34

ABREVIATURAS

2D	Dos Dimensiones
3D	Tres Dimensiones
COT	Contenido Orgánico Total
CPB	Clay Pebble Beds
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
Fm.	Formación
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de Naciones Unidas

SIMBOLOGÍA

E	Este
Ft	feet – pies
K/Ar	relación potasio y argón
km	kilómetros
m	metros
Ma	millones de años
N	Norte
NO	noroeste
O	Oeste
Pb	plomo
SO	suroeste
SE	sureste
S	sur
U	uranio

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 A: Contexto Regional de la formación de la Cuenca Progreso. B: Acercamiento a la Cuenca Progreso y detalle de sus formaciones.	7
Fig. 2 Geodinámica de la Cuenca Progreso	9
Fig. 3 Columna Cronoestratigráfica de la Cuenca Progreso; Error! Marcador no definido.	
Fig. 4 Ubicación de la toma de las líneas sísmicas	22
Fig. 5 Línea 30 sin análisis de estructuras y unidades geológicas.....	25
Fig. 6 Línea 30 analizada sismo-estratigráficamente.....	25
Fig. 7 Línea 32 sin análisis de estructuras y unidades geológicas.....	28
Fig. 8 Línea 32 analizada sismo-estratigráficamente.....	28
Fig. 9 Línea 34 sin análisis de estructuras y unidades geológicas.....	30
Fig. 10 Línea 34 analizada sismo-estratigráficamente.....	30
Fig. 11 Línea 36 sin análisis de estructuras y unidades geológicas	32
Fig. 12 Línea 36 analizada sismo-estratigráficamente.....	32
Fig. 13 Perfil de superficie de la línea 36, basado en datos de rumbo y buzamiento ..	33
Fig. 14 Relación del perfil con la sísmica	33

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación está basado tanto en estudios previos que datan de los años 60 hasta la actualidad, y en el análisis de nuevos datos disponibles de la cuenca Progreso, mostrados en este trabajo de titulación.

La Cuenca Progreso, ubicada en el norte de Suramérica, comparte una geodinámica similar con Colombia, en lo que respecta a la colisión y acreción de terrenos oceánicos durante el Cretácico tardío (Witt et al., 2019). Estos rasgos morfotectónicos están claramente evidenciados por la exposición de ofiolitas a lo largo de la cordillera occidental de Ecuador y Colombia, atribuidos a una subducción oblicua caracterizado por fallas de cizalla de gran extensión (Jaillard et al., 1997).

Esta fase tectónica fue inestable y pudo haber afectado al NO de Perú y SO de Ecuador, posteriormente hubo un restablecimiento en el margen en el Eoceno Temprano de acuerdo con Aizprúa et al. (2019); quienes además mencionan que la acreción de la placa del Caribe a lo largo de los Andes del Norte pudo haber tenido una gran influencia en el posterior desarrollo de las cuencas de antearco.

La investigación propuesta como trabajo de titulación toma los aportes de Aizprúa (2019) ya que dicho estudio propone una estrecha relación entre la tectónica y la estratigrafía de la zona, aspectos que son estudiados a mayor detalle dentro de la Cuenca Progreso en el presente estudio.

Partiendo de un estudio detallado de sísmica estratigráfica, se presenta un esquema cronoestratigráfico de las principales secuencias Cenozoicas de la cuenca Progreso, dentro de un marco tectónico actualizado.

El desarrollo de esta investigación se estructura en capítulos que corresponden a capítulo uno: Marco teórico en donde se tratan temas como geología regional, Cuenca Progreso, evolución de la Cuenca Progreso y estratigrafía de la Cuenca; el capítulo dos es la metodología; capítulo tres, resultados y análisis y el capítulo cuatro son las conclusiones y recomendaciones.

Es importante destacar que los estudios a los que se hace referencia se basaron en información de campo sobre la base de un análisis estructural a detalle sumados a los resultados de esta investigación, a partir de la interpretación sísmica tanto 2D como 3D deberá servir para que, en un futuro mediano, nuevos investigadores expertos en el área puedan identificar con mayor certeza fuentes petrolíferas contribuyendo de esta manera al desarrollo productivo del país.

1.1 Descripción del problema

El suroeste de la costa ecuatoriana está caracterizado por la presencia de los primeros campos de hidrocarburos en Ecuador. De acuerdo con lo que plantea Benítez (1995), los hidrocarburos aquí encontrados, contenidos en rocas paleógenas, han sido interpretados como si fueran generados por rocas de la formación Oligocena Dos Bocas, localizada en la parte central y sureste de la

cuenca de antearco Progreso. Según Aguilar (2005), existen más de 700 pies de roca madre con alto contenido de COT, lo que permite inferir que esa podría ser la roca generadora del hidrocarburo.

Al considerar las dos propuestas desde el análisis bibliográfico, se plantea la necesidad de estudiar las variaciones estratigráficas en la zona porque al existir cambios tectónicos - geológicos estos provocarían deposiciones diferentes a las establecidas lo que permitiría determinar nuevas fuentes hidrocarburíferas.

Cabe señalar que, dentro de la Cuenca Progreso, no se han encontrado hidrocarburos de ámbito comercial.

Por lo tanto, la presente investigación titulada “Estudio sismo – estratigráfico del sector central de la cuenca de antearco Progreso en el Suroeste de Ecuador”, busca contribuir al conocimiento geológico y potencial exploratorio de recursos no renovables del área. A través de la interpretación detallada de sísmica 2D y 3D, en conjunto con datos disponibles de superficie, se busca delimitar la extensión de los distintos ambientes sedimentarios que podrían favorecer a la acumulación de depósitos que servirían de roca generadora, así como posibles reservorios de hidrocarburo.

1.2 Justificación del problema

La investigación objeto del trabajo de titulación, está en correspondencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Organización de Naciones Unidas (ONU), específicamente con el objetivo 8 que hace referencia a “Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos” y con su meta 8.4 que establece “Mejorar progresivamente, para el 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, de conformidad con el marco decenal de programas sobre modalidades sostenibles de consumo y producción, empezando por los países desarrollados”.

La importancia del estudio propuesto desde un punto de vista teórico-científico, se justifica desde el análisis de los cambios tectónicos – geológicos a partir de las investigaciones realizadas en la zona por lo que este trabajo contribuye a fortalecer los conocimientos sismo – estratigráficos de la Cuenca Progreso con datos actuales que permitirán observar su evolución.

Por otro lado, también contribuye a una justificación práctica de la investigación, porque a partir de los datos obtenidos a través de la sísmica 2D y 3D se diseñará un esquema cronoestratigráfico y paleogeográfico en donde se identificarán los elementos de la estratigrafía secuencial, las variaciones de los estratos y la secuencia deposicional; permitiendo que en futuras exploraciones

hidrocarburíferas los expertos, geólogos y petroleros identifiquen estructuras geológicas idóneas para la acumulación del petróleo a partir de la información esquematizada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Elaborar un esquema cronoestratigráfico de la zona central de la Cuenca Progreso mediante un estudio sismo-estratigráfico que permita la definición de la distribución areal y temporal de las rocas reservorios.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar datos de sísmica 2D en función de terminaciones de reflectores y facies sísmicas para la definición de las principales secuencias sedimentarias.
- Identificar los diferentes estilos estructurales de la zona de estudio para el estudio el efecto de la tectónica en el área.
- Caracterizar los componentes de la sísmica analizada para el reconocimiento de las variaciones de la estratigrafía a lo largo del tiempo.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Geología Regional

La Placa del Caribe se encuentra en el centro de un contexto tectónico, en el que se yuxtapone contra el Norte- Sur de América y las placas de Cocos y

Sudamericana, a través de la subducción y zonas de límites de placas transformantes (Fig. 1A). (Luzieux et al., 2006)

Análisis geofísicos y geoquímicos de la Placa del Caribe indican la presencia de una provincia Ígnea que colisionó con la placa del Norte y Sudamericana (Cretáceo Tardío) y posteriormente los márgenes fueron deformados. La evolución de los bloques alóctonos que comprimieron el antearco fueron acrecionados al margen sudamericano. Por ende, la Placa del Caribe tuvo influencia en la evolución de los Andes del Norte (Luzieux et al., 2006).

Referente al contexto geológico regional, se evidencia la división de los Andes: Septentrionales, centrales y meridionales; donde los Andes ecuatorianos y Colombia pertenecen a la primera división y su basamento es de rocas ígneas básicas formadas en una dorsal oceánica y que fueron acrecionadas al margen continental sea por obducción en Colombia o por alguna forma de colisión (Jaillard, E. y Mascle, 1994).

Los flancos del norte de los Andes están subyacidos por terrenos oceánicos alóctonos derivados de la Gran Provincia Ígnea del Caribe que fueron acrecionadas al continente sudamericano desde el Campaniano Tardío al Paleoceno (Aizprua et al., 2019)

1.4.2 Cuenca Progreso

La Cuenca Progreso se ubica en el suroeste del Bloque Nor-Andino de Sudamérica (Fig. 1B). La cuenca tiene una orientación NO-SE y se ubica de forma oblicua al presente margen activo, trinchera por las características de esta y la localización geográfica es una cuenca de antearco (Witt et al., 2019) con componentes transtensionales y Transcurrentes.

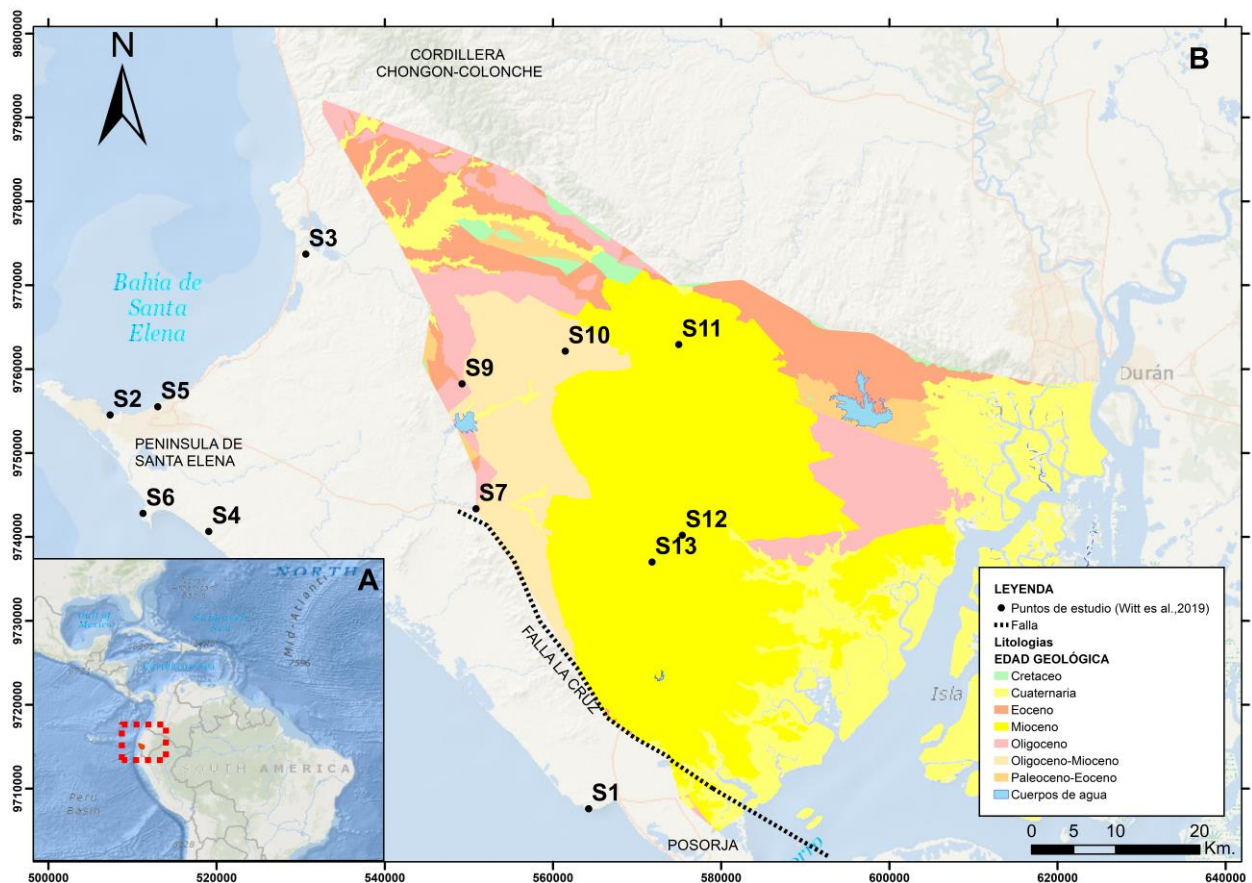


Fig. 1 A: Contexto Regional de la formación de la Cuenca Progreso. B: Acercamiento a la Cuenca Progreso y detalle de sus formaciones.

Como límites de la mencionada cuenca tenemos al norte: la cordillera Chongón Colonche; al sur: Posorja y la falla La Cruz; al este: la ciudad de Guayaquil y al oeste: la Península de Santa Elena y la Falla La Cruz (Gutscher et al., 1999)

En la zona de la Cuenca Progreso atraviesan en superficies rocas sedimentarias correspondientes a formación Progreso y Puná que datan de la edad Mioceno Medio - Plioceno (Jiménez, 1985).

1.4.3 Evolución de la Cuenca Progreso

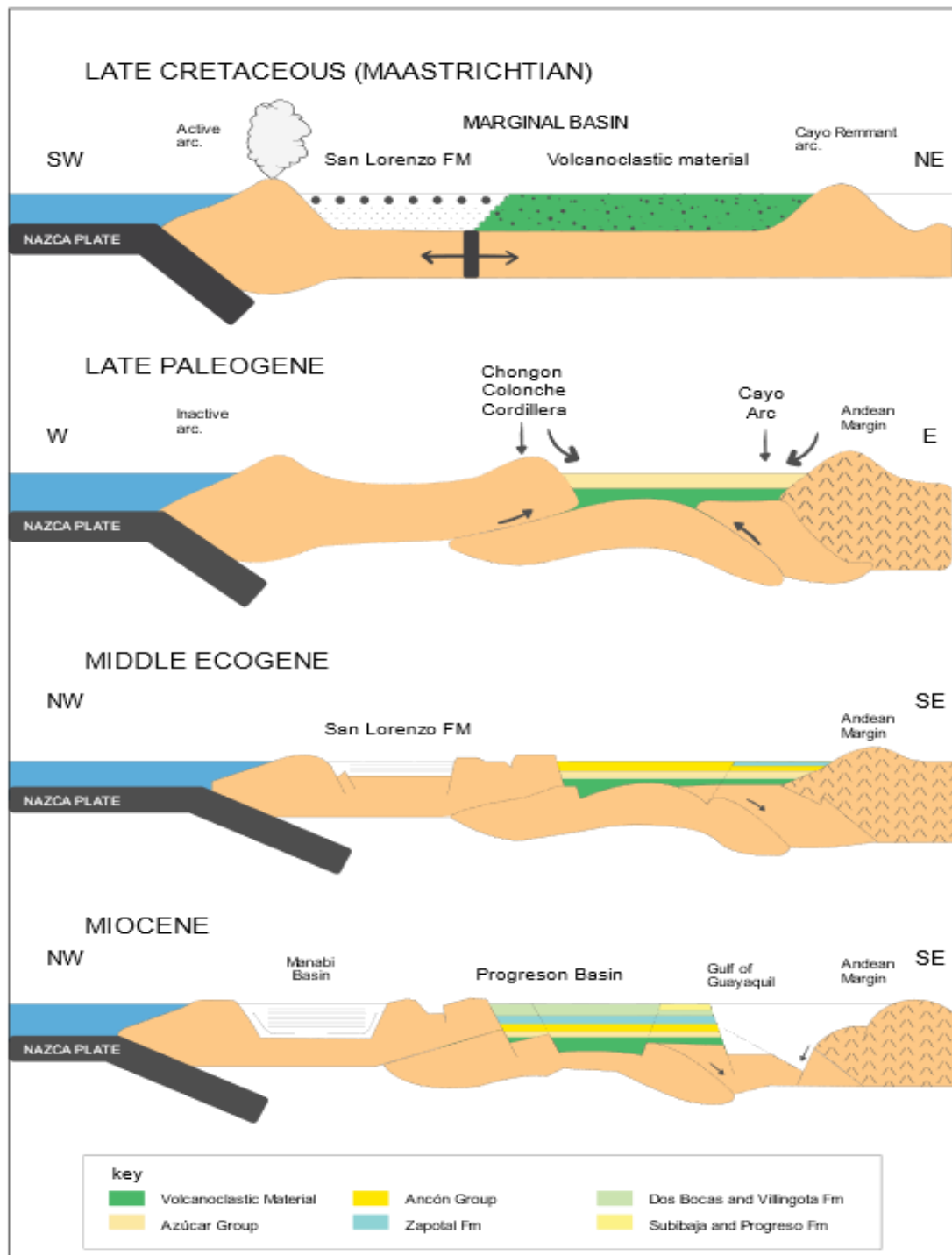


Fig. 2 Geodinámica de la Cuenca Progreso
(modificado de Jaillard et al., 1994; Witt et al. 2019)

Al analizar la propuesta de Jaillard, E. y Mascle (1994) y Witt et al. (2019) en lo que respecta al tectonismo y desarrollo de la cuenca se divisan 4 fases de eventos tectonosedimentarios mayores:

- **Cuenca Marginal – Cretácico tardío**

Acumulación de sedimentos pelágicos vulcanoclásticos, bloque alóctono basal, en el suelo oceánico del sur de la costa ecuatoriana. Presencia de una fina secuencia de la Formación Cayo, lo que sugiere que la cuenca marginal estaba rodeada por un arco de islas que estuvo activo en el Coniaciano (Jaillard, E. y Mascle, 1994).

La actividad del remanente arco de Cayo decreció con el tiempo. Sin embargo, la actividad tectónica y volcánica aumentó dando como resultado la formación de un nuevo arco de islas. Por lo tanto, se da el relleno de la Cuenca Marginal (Witt et al., 2019).

- **Acreción y etapa temprana de la cuenca ante arco – paleógeno tardío**

Mayor tectonismo causados por cambios drásticos en la paleogeografía, se evidencia el prisma de acreción e inicio de sistema de fallas. Existen diferencias en la evolución tectónica y sedimentación de la Península de Santa Elena y Chongón Colonche-Manabí, indicando que ellos representan unidades de estructuras independientes durante el Paleoceno temprano – Eoceno (Jaillard, E. y Mascle, 1994).

Se evidencia la colisión del arco remanente de Cayo con el margen continental que provocó el bloqueo de la subducción y probablemente el empuje de la cordillera Chongón Colonche y zonas de Manabí. Estos eventos acrecionarios, marcaron un fin a la evolución de la cuenca marginal de arco de islas en el sur de la costa de Ecuador (Witt et al., 2019).

- **Cuenca ante arco y colisión definitiva – Eoceno medio**

Este período terminó con un hiato estratigráfico sedimentario importante. La transgresión en el Luteciense temprano es atribuida al proceso extensional, y se aprecia en la erosión y desaparición ascendente de la deformación sin sedimentaria, la presencia de fallas normales.

La sucesión del Eoceno medio termina en depósitos de grano grueso interpretados como el resultado de la colisión y fallamiento normal y de rumbo de esta unidad bajo el margen continental (Jaillard, E. y Mascle, 1994). El material se vuelve más frágil conforme aumenta la acreción, depositación del grupo Ancón y mantiene concordancia con el sistema de fallas. Presencia de empuje vertical y formación de la elevación Estancia y del ante arco de la cuenca Progreso. Se deposita en el tope la formación Zapotal (Witt et al., 2019).

- **Nueva cuenca ante arco - Mioceno**

Desarrollo de varias cuencas rellenas de areniscas y lutitas poco profundo y de grano fino. Existen mayores esfuerzos verticales y la Cuenca Progreso está confinada por las fallas Carrizal y La Cruz, probablemente heredadas del Paleoceno tardío en la colisión temprana del Eoceno (Jaillard, E. y Mascle, 1994). Finalmente, se deposita la formación Progreso y Subibaja; y formación final de la cuenca Progreso.

1.4.4 Estratigrafía de la Cuenca Progreso

Desde la propuesta de Small (1962), la Península de Santa Elena y la Cuenca Progreso se encuentran subdivididas en 5 ciclos de secuencias sedimentarias.

- 1) NO-S América: presencia de conglomerados y chert de Formaciones Cayo y Guayaquil
- 2) 0-15.000 ft de lutitas, areniscas y conglomerados del Paleoceno a Eoceno Medio, presencia de fallas y plegamientos (grupo azúcar y fm. Chanduy)
- 3) 0-5.000 ft: fuente dominante del Eoceno Medio -Superior, sedimentos yacen al NE de la Cuenca Progreso.
- 4) **Cuenca Progreso**: 0-15.000 ft de la fm. Zapotal, Dos Bocas y Progreso. Presencia de fallas normales que dan origen a horst y grabens. (Figura 2).
- 5) Levantamiento de depósitos de terrazas marinas del Plioceno a Pleistoceno.

La evolución del antearco del SO de Ecuador está definida por tres sucesiones principales estratigráficas que definen acreción, post – acreción y series de cuenca antearco (Witt et al., 2019).

La delimitación de la Cuenca Progreso y la presencia de las distintas formaciones que se han depositado se basan en estudios de zircón U-PB (Witt et al., 2019) para datar rocas y formaciones.

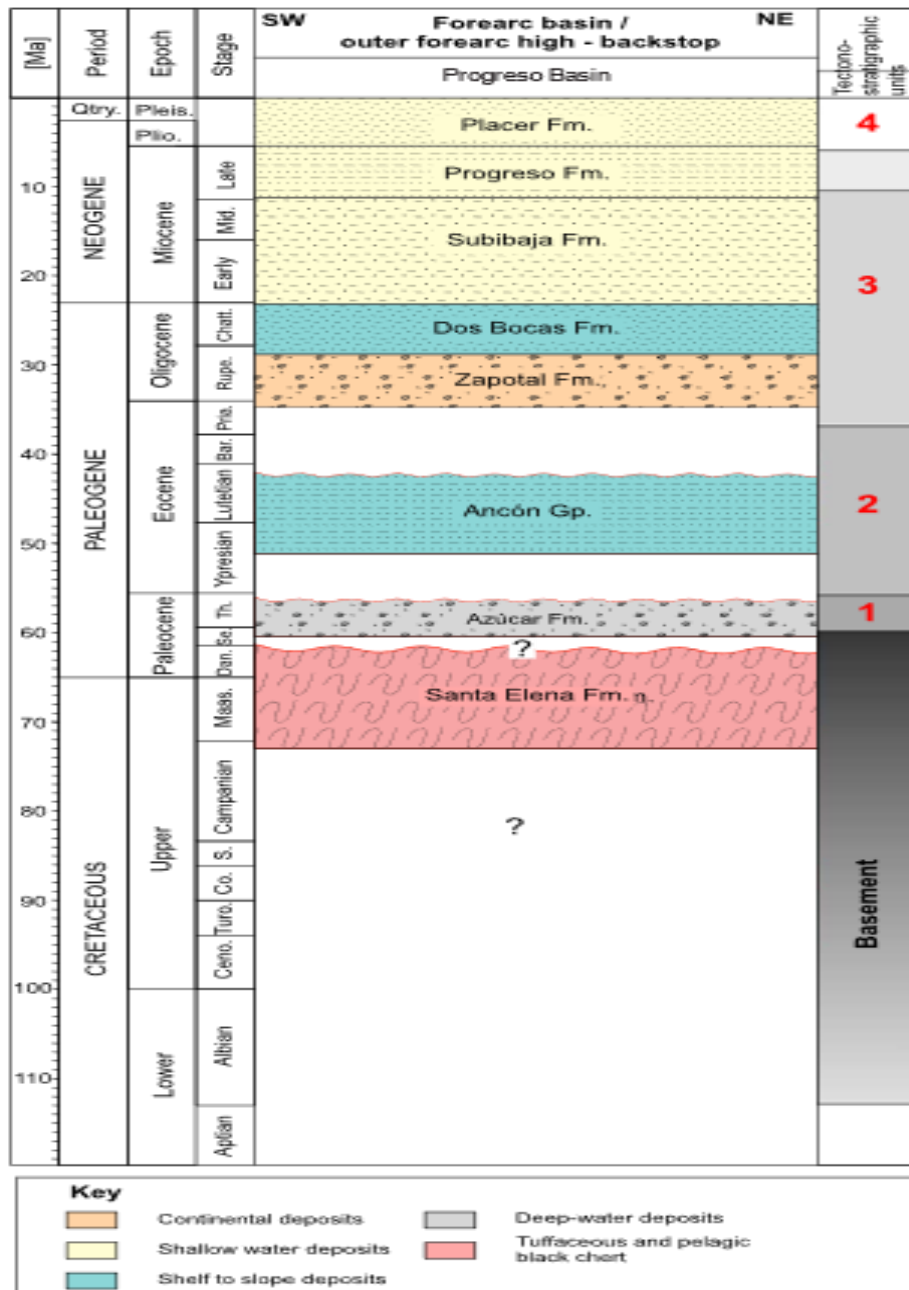


Fig. 3 Columna Cronoestratigráfica de la Cuenca Progreso (modificado de Aizprúa et al.,2019)

En la (Fig. 3) se evidencia las unidades tectono-estratigráficas, Aizprúa et al. (2019) lo clasifica de la siguiente manera:

- Basamento
 - 1) Depósitos marinos profundos y deformados.
 - 2) secuencia sedimentaria de pendiente/talud
 - 3) Secuencia sedimentaria poco profunda o de plataforma continental
 - 4) Secuencias cuaternarias gruesas.

En la Cuenca Progreso, el basamento se desconoce a pesar de que en la geodinámica se reconoce un bloque alóctono de origen oceánico (Fig. 2). Sobreyace la formación Santa Elena con inconformidades en el tope, luego se evidencia un hiato y la depositación de la Formación Azúcar y Ancón también con inconformidades y posteriormente una depositación más ordenada de las formaciones finales.

En consecuencia, se encontraron las siguientes descripciones:

1.4.4.1 Grupo Azúcar

El grupo Azúcar contiene los primeros productos de erosión del resultado de la acreción del SO de Ecuador contra el margen del continente Sudamericano; datando sus rocas de edad Paleoceno: Daniano. Aflora a lo largo del margen Norte de la Cuenca Progreso y debido a los diversos grados de deformación de esta se propone que la base y el tope de la formación es de tipo erosional (Witt et al., 2019) . Se caracteriza por la presencia de areniscas, lutitas, arcillas y conglomerados.

El grupo Azúcar está representado por areniscas turbídicas, con alto porcentaje de cuarzo y cantidades menores de arcilla (Zorrilla, 1999).

El grupo se divide en tres formaciones:

- Formación Estancia: ubicada en los cerros La Estancia como una secuencia de cerca de 1220 m de areniscas grises, micáceas, color rojo ladrillo por meteorización, que alternan con lutitas negras duras (Jaillard, E. y Mascle, 1994). Según Small (1962) el contacto de la Fm. Estancia con la suprayacente Fm. Chanduy es transicional a localmente discordante
- Formación Chanduy: Consta de areniscas grises, síliceas, de dureza moderada, conglomerados de cuarcita, alteraciones de arenisca y conglomerados. Al tope alternancias de lutitas negras duras con arenisca gris (López, 2016).

El contacto con la suprayacente Fm. Engabao es transicional y muy difícil de definir en el subsuelo (Small, 1962).

- Formación Engabao: esta presenta rocas areniscas masivas, de color marrón, intercalaciones de capas delgadas de lutitas y areniscas, y localmente conglomerado de cuarcitas (López, 2016)

1.4.4.2 Grupo Ancón

El grupo Ancón comprende rocas silicoclásticas de edad Eoceno Medio y Superior que toman su nombre del campo petrolero de Ancón que fue explotado entre 1906 y 1967. Este grupo aflora más hacia el Norte desde Ballenita hasta el campo Pacoa y subafloran ampliamente en el área de la plataforma continental adyacente; también se

ha identificado en la Cuenca Progreso donde aflora en el borde Oeste en el límite con el Alto Santa Elena (Jaillard, E. y Mascle, 1994). Se diferencian de Azúcar en el carácter mucho menos deformado de las turbiditas, una mayor abundancia de lutitas y limolitas y por su mayor riqueza en materia orgánica (Zorrilla, 1999).

El grupo se divide según Jaillard et al. (1997) en:

- Formación Clay Pebble Beds (CPB): éstas representan depresiones a gran escala que expresan la inestabilidad del estrato inferior, además de una facie diacrónica. Se evidencia una secuencia maciza de matriz arcillosa, con rodados y bloques de superficie pulida, compuestos por cuarcitas negras, areniscas y calcáreos.
- Formación Socorro: aflora en los acantilados de Ancón desde el camino de bajada del Club Ancón hasta 2 km al SE en la planta de agua (Jaillard, E. y Mascle, 1994). Constituida por areniscas turbidíticas delgadas verdosas alternadas con lutitas grises que sobreyacen a la Fm. CPB e infrayacen a las lutitas de la Fm. Seca.
- Formación Seca: Ha sido definida paralelamente a la Fm. Socorro ya que la recubre concordantemente. Es la formación sello del campo Ancón y aflora en los acantilados desde 1 km al Sur de la planta de agua durante unos 4 km hasta las puntas Pita, Paz y Certeza (Jaillard, E. y Mascle, 1994). Constituida por arcillolitas gris verdosas con raras intercalaciones de areniscas finas. Tienden a meteorizar en colores amarillo rojizo, y alteración de yeso microcristalino.

- Formación Punta Ancón: areniscas grises con base erosiva con alternancias de pelitas grises, niveles finos de color castaño, depósitos marinos localizados entre la plataforma externa y la parte superior del talud continental.

1.4.4.3 Formación Zapotal

La formación Zapotal ha sido definida a lo largo de los límites de la Cuenca Progreso, encontrándose en relación directa con las fallas La Cruz y Carrizal (Figura 1B). Según estudios bio-estratigráficos (Jaillard, E. y Mascle, 1994), se la ubica hacia la base del Mioceno inferior. Un estudio geocronológico reciente de dataciones U/Pb sobre la formación Zapotal da una edad de 30 Ma (Witt et al., 2019). La formación Zapotal se caracteriza por la presencia de rocas clásticas areno-conglomerática, presencia predominante de chert, intercalaciones de areniscas de grano grueso. La poca madurez de los sedimentos hace prever que la fuente de los sedimentos se deriva de elevaciones muy próximas a la cuenca. De acuerdo con mediciones de paleo corriente de la Formación Zapotal, realizadas por Small (1962), se puede observar que estas apuntan hacia el centro de la Cuenca, de forma bidireccional.

Mismo autor proponen que tanto las elevaciones de los cerros de Estancia y Cordillera Chongón Colonche, al sur y norte respectivamente, proporcionaron los sedimentos que conforman a la formación Zapotal. Esta interpretación es confirmada por datos geoquímicos, que indican que la parte inferior de Zapotal es de ambiente aluvial (Vallejo et al., 2019)

1.4.4.4 Formación Dos Bocas

Aflora mayormente en el margen Oeste de la Cuenca Progreso. El nombre fue asignado a las rocas arcillosas color café, consiste fundamentalmente de arcillolitas limosas, laminadas, con vetillas centimétricas de yeso (Zorrilla, 1999). Es característica la presencia de bloques métricos con aspecto de concreciones o de estratos discontinuos asumiendo formas lenticulares como si fueran productos de un deslizamiento. Hacia el NO la formación se acuña y puede confundirse con las rocas del Grupo Ancón muy parecidas litológicamente.

Esta formación es una facies clástica arcillosa que se deposita en área marina más subsidente de la cuenca (Jaillard, E. y Mascle, 1994). En la base de la formación se encuentra fauna que data las rocas del Mioceno Inferior, por presencia de radiolarios. Esta datación es coincidente con la edad de U-Pb de un esqueleto de delfín encontrado en el área de Montañita (Witt et al., 2019)

1.4.4.5 Formación Subibaja

Small (1962) estableció la existencia de los miembros Saiba (inferior) y Zacachum (Superior) que no presentan fuertes diferencias litológicas; la principal es una disminución de la microfauna y un aumento de moluscos del Miembro Zacachum que reflejan una somerización del Paleoambiente (Jaillard, E. y Mascle, 1994).

Se denominan a los limos calcáreos con abundancia de foraminíferos, que afloran al Norte y Oeste del Pueblo Subibaja. Las rocas típicas son limolitas calcáreas, de

aspecto moteado debido a la gran cantidad de foraminíferos. También son comunes las limolitas gris verdosas y estratos poco potentes de areniscas finas con mega fósiles. (Zorrilla, 1999). La presencia de estos foraminíferos muestra un diagnóstico en el U-Pb de una edad Mioceno Medio Temprano (Witt et al., 2019)

1.4.4.6 Formación Progreso

Esta formación corresponde a la última transgresión marina del área, después de una dominante sedimentación fluvial en el tope de la Fm. Subibaja. Estudios muestran las unidades agradacionales de una extensión lateral (Witt et al., 2019). La localidad fue definida en la carretera Progreso-Playas, unos 11 km hacia el Sur, desde la antigua estación del ferrocarril. Las tobas Posorja han sido datadas (K/Ar en plagioclasa 8.6 + 1.7 Ma) colocándolas en el Mioceno Superior Inferior (Jaillard, E. y Mascle, 1994).

La litología comprende areniscas calcáreas y coquinas de Turritelas y de Ostreidos, intercaladas con arcilla gris. Las areniscas son de textura variable, mal clasificadas con guijas subredondeados (Zorrilla, 1999).

1.4.4.7 Formación Placer

Por su parecido con la Fm. Progreso se puede inferir un ambiente de depósito estuarino; sin embargo, la presencia de fauna planctónica debería corresponder a una facies paleo ambiental diferente a la de Progreso y es de edad Cuaternario (Jaillard, E. y Mascle, 1994).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación estuvo basado en el análisis cualitativo de perfiles de sísmica industrial 2D, adquiridos por la empresa EP PETROECUADOR en la década de los 90. Adicionalmente, se contó con perfiles derivados de un cubo de sísmica 3D, de mayor resolución. Los perfiles de sísmica estaban distribuidos principalmente en dirección NE-SO con una separación aproximada de 5 m entre sí, y perfiles ortogonales con una separación aproximada de 4,80 m. Adicionalmente, se cuenta con datos publicados de edad geológica del depósito, derivado de dataciones radiométrica (Witt et al. 2019).

Dado que el principal objetivo del presente trabajo fue el estudio sismo-estratigráfico de la Cuenca Progreso, se realizó un análisis de estratigrafía sísmica a detalle que permita la identificación de la distribución temporal y espacial de las distintas secuencias estratigráficas. Debido a la ausencia de datos de pozos que permitan hacer un ajuste sísmica-pozo, los distintos reflectores fueron datados a base de su extensión a superficie y proximidad al dato de edad geológico más cercano.

Metodológicamente fue importante diferenciar el tipo de variables que definieron este trabajo, que focalizó la investigación sobre las variaciones estratigráficas en la zona porque al existir cambios tectónicos - geológicos estos provocarían deposiciones diferentes a las establecidas lo que permitiría determinar nuevas fuentes hidrocarburíferas.

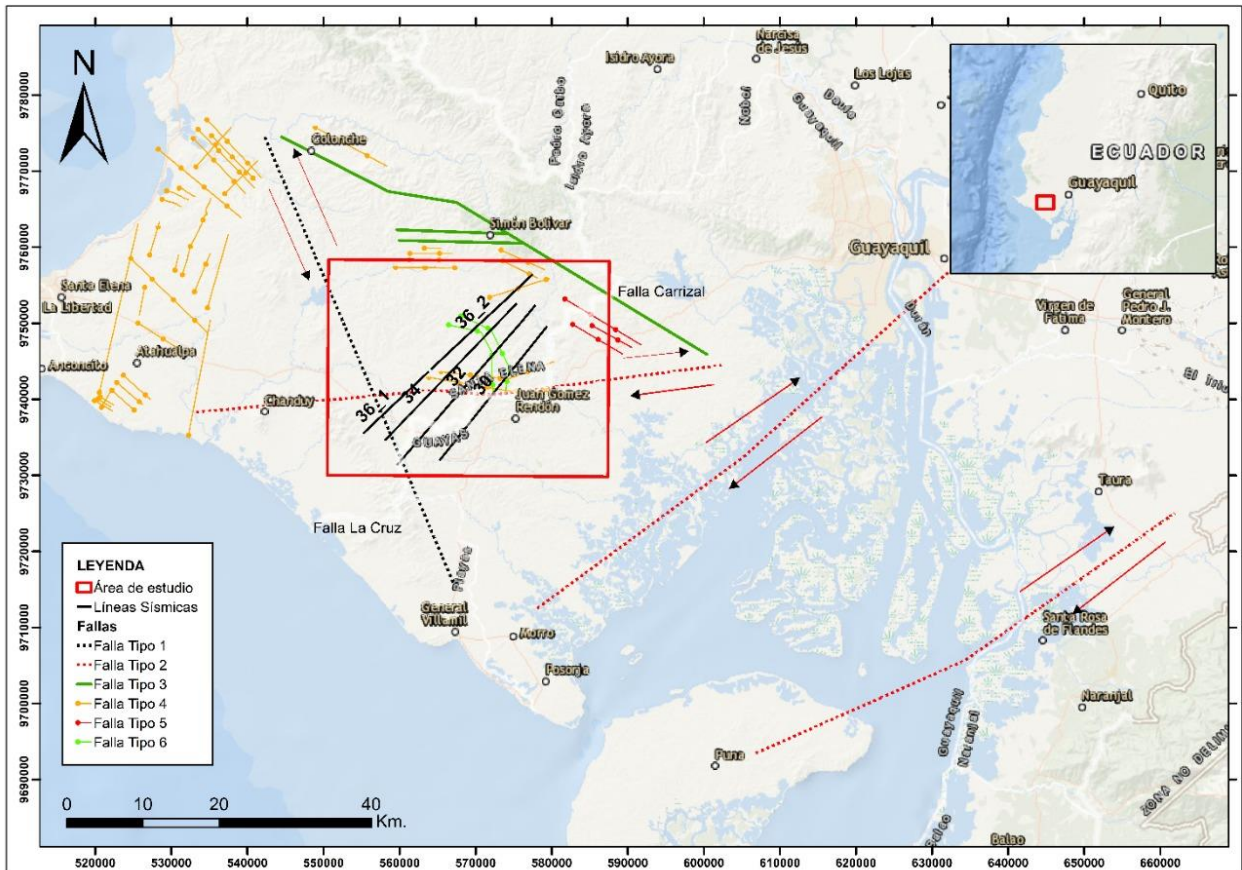


Fig. 4 Ubicación de la toma de las líneas sísmicas

Durante el desarrollo del trabajo se utilizó el programa Adobe Illustrator para la identificación inicial de las geometrías de la estratigrafía secuencial, lo que permitió observar las diferentes tipologías; consecutivamente se trabajó con análisis y síntesis que ayudaron a la identificación de variaciones en las superficies ya establecidas y el reconocimiento de situaciones particulares relacionadas con las teorías estructurales y sísmicas que difieren con la realidad del momento.

Para esta tesis se estructuró el estado de arte basándose en estudios previos estratigráficos y sísmicos que se desarrollaron en la zona; de esta manera se esquematizó cognitivamente la información para poder trabajar en la sísmica 2D. Dentro del análisis bibliográfico, las investigaciones que son mayormente la base de esta titulación son:

- Aizprúa et al., 2019
- Jaillard et al., 1994
- López, 2016
- Witt et al., 2019

A través del software Adobe Illustrator, manualmente se realizó la interpretación a detalle de los reflectores: onlap, downlap, truncación, toplap; las cuales ayudan a delimitar las superficies estratigráficas para mostrar las unidades sismo tectónicas o geológicas.

Posterior a la selección de geometrías de estratigrafía secuencial se usó el método interpretativo para comprender los cambios de la estratigrafía y se profundizó en un análisis dinámico de la zona. Finalmente se trabajó con el método heurístico con bases de reglas empíricas de la estratigrafía y sísmica 2D para llegar a una interpretación final de las modificaciones que ha sufrido la Cuenca Progreso.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los datos obtenidos para la presente investigación surgen del análisis interpretativo de otros trabajos realizados en la Cuenca Progreso de tal modo que permitieron la identificación de geometrías de la estratigrafía secuencial.

De la misma manera responden a los objetivos específicos 1 y 2 que corresponden al análisis de la sísmica 2D y a la caracterización de la tectónica del área, dichos objetivos tributan al cumplimiento del objetivo general.

En los trabajos revisados de otros investigadores sobre Análisis estructural, Evolución tectonoestratigráfica, Sistema Petrolífero y Corte Estratigráfico realizados en la Cuenca Progreso de Ecuador evidenciaron que dicha zona es muy compleja con presencia de fallas, horst y grabens. Con los datos obtenidos en esta investigación con respecto al análisis de las líneas sísmicas se encontraron sistemas de fallas normales, flores positivas y negativas, y plegamientos significativos a lo largo de la zona.

Es importante destacar la importancia que tuvieron los datos iniciales para el desarrollo del presente trabajo en donde se determina similitudes en la deposición de las unidades sismo – tectónicas.

A continuación, se mostrará el análisis realizado a cada línea dentro del área de estudio.

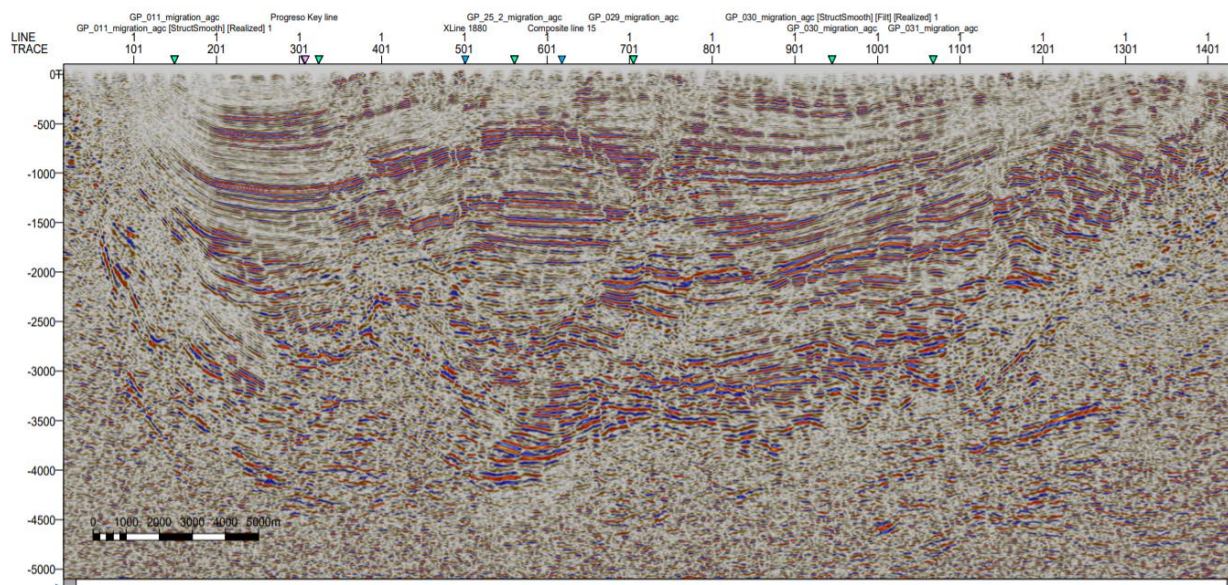


Fig. 5 Línea 30 sin análisis de estructuras y unidades geológicas.

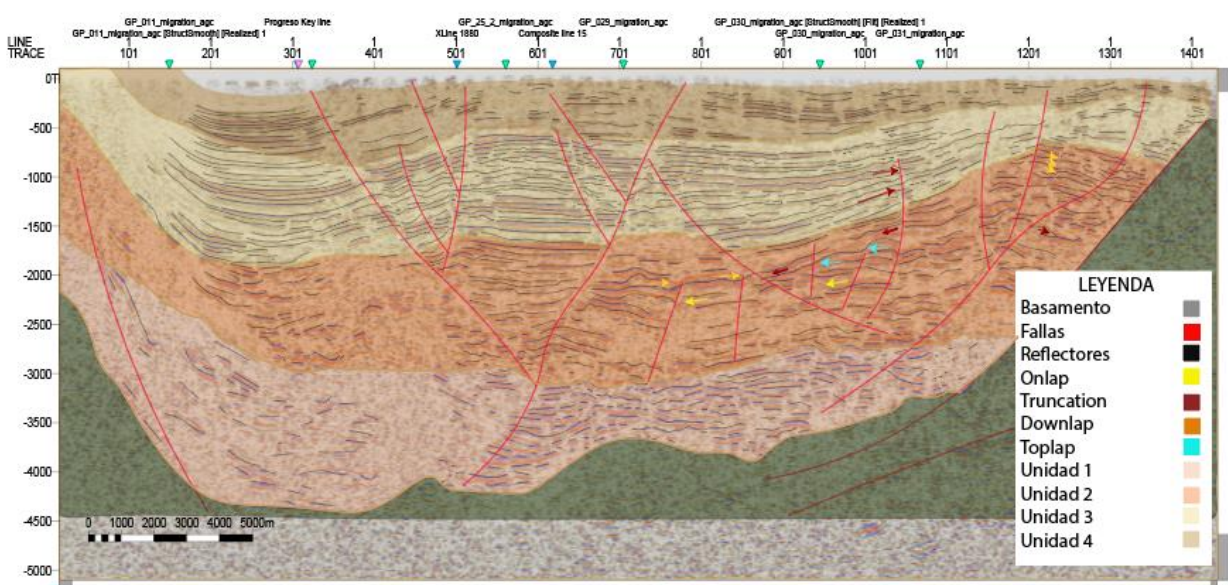


Fig. 6 Línea 30 analizada sismo-estratigráficamente.

En la Fig. 6. se muestra el sistema de fallas de color rojo, que se evidencia por flores negativas y de desplazamiento de rumbo. Posterior al análisis de reflectores se identificaron superficies erosivas y en la línea 30 se dividieron en 4 unidades sismo tectónicas.

- Unidad 1: de lado izquierdo hay poca presencia de reflectores y estos tienen una configuración Hummocky cliniforms. Al centro y derecha de la cuenca presenta una configuración contorneada. Para poder definir esta unidad de la siguiente se dio por la continuidad de los reflectores. Ambiente sedimentario: posiblemente parte alta de la plataforma y continental.
- Unidad 2: A lo largo de esta se evidencian reflectores más continuos; sin embargo, la configuración es disruptiva. En el centro los reflectores hacen toplap, onlap y downlap propios en una cuenca. A la derecha hay reflectores que hacen truncación y se evidencia una superficie erosiva con la siguiente unidad. Es notorio que el sector de la derecha tiene un levantamiento producida por esfuerzos en la zona y por la presencia de flores y fallas. Ambiente sedimentario: Parte alta de la plataforma.
- Unidad 3: en esta unidad se evidencia mayor continuidad de los reflectores, hacia el centro de la imagen se evidencia una acomodación de los reflectores con la configuración paralela y disruptiva por sectores. En el lado izquierdo es notorio que los reflectores hacen downlap. Ambiente sedimentario: parte alta de la plataforma.

- Unidad 4: de lado izquierdo hay reflectores paralelos a lo continua al centro de la unidad éstos se vuelven contorneados y hummocky clinofoms. Hacia la derecha se pierde la continuidad de los reflectores, es más difícil seguir su camino. Ambiente sedimentario: parte superior de la Plataforma.

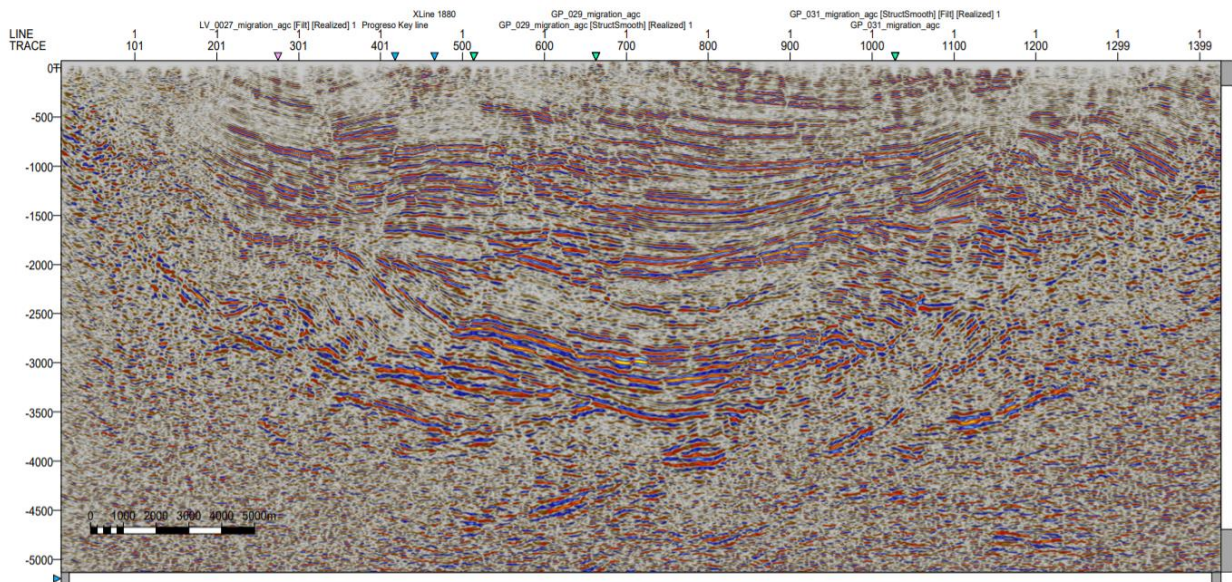


Fig. 7 Línea 32 sin análisis de estructuras y unidades geológicas

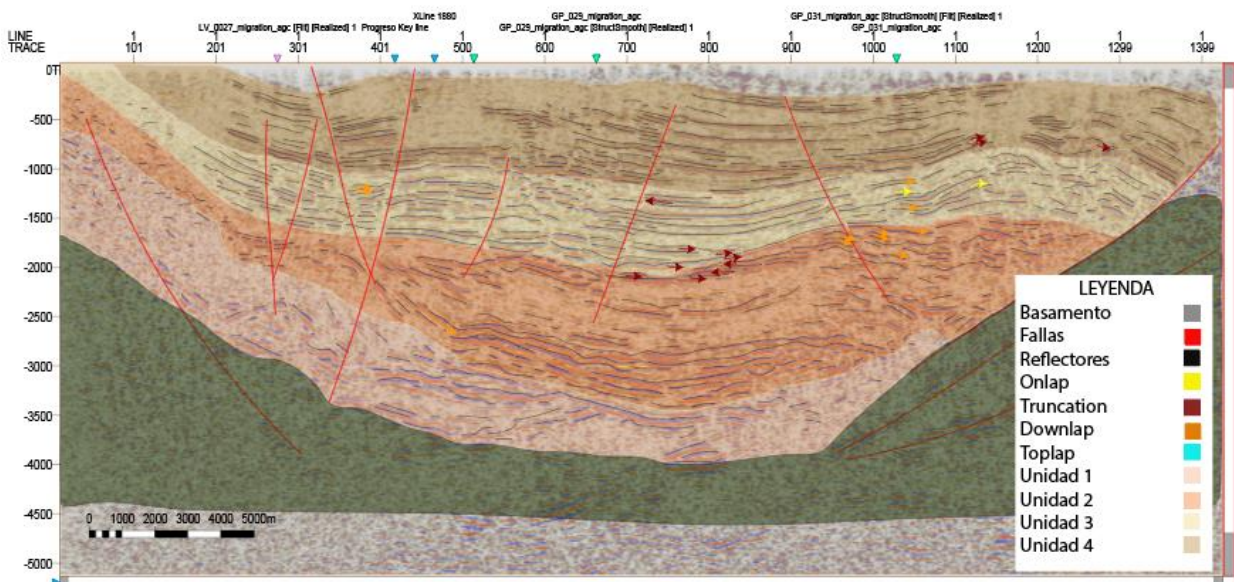


Fig. 8 Línea 32 analizada sismo-estratigráficamente.

Se evidencia similitud en la posición de las fallas y flores, es evidente en el centro de la figura 8, la presencia de reflectores que hacen truncación. Hacia la derecha se elevan las estructuras posiblemente por esfuerzos tectónicos en la zona.

- Unidad 1: analizando en la izquierda hay poca presencia de reflectores, en el centro la configuración de los reflectores es oblicua y hacen downlap y posteriormente terminan desapareciendo. Ambiente sedimentario: posiblemente parte alta de la plataforma y continental.
- Unidad 2: a la izquierda existen poco reflectores y en el centro existe truncación entre los mismo, lo cual presenta una superficie de erosión entre la siguiente unidad. A la derecha hay presencia de Downlap, está un poco plegada la zona. Ambiente sedimentario: Parte alta de la plataforma.
- Unidad 3: en la base se evidencia erosión con la unidad 2. De izquierda a derecha va aumentando la presencia de los reflectores en la configuración disruptiva y a la derecha está contorneada. En el centro hay truncación. Ambiente sedimentario: parte alta de la plataforma.
- Unidad 4: desde la izquierda al centro de la línea, los reflectores están disruptivos y con configuración hummocky clinofolds; sin embargo, esto cambio a la derecha ya que se vuelve subparalela. Ambiente sedimentario: parte superior de la Plataforma.

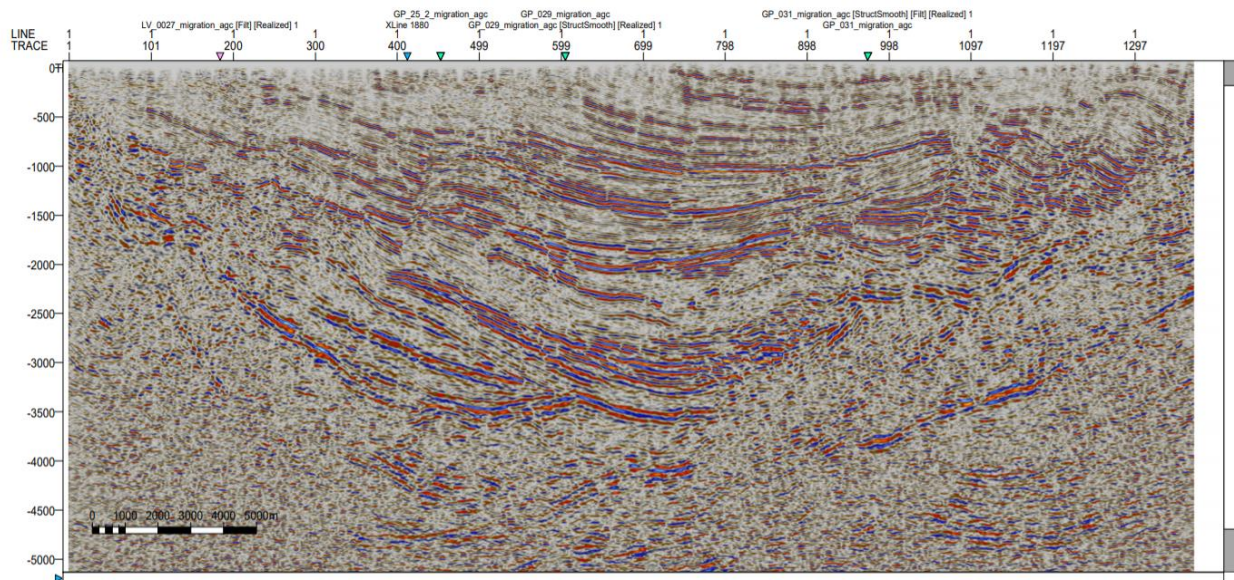


Fig. 9 Línea 34 sin análisis de estructuras y unidades geológicas

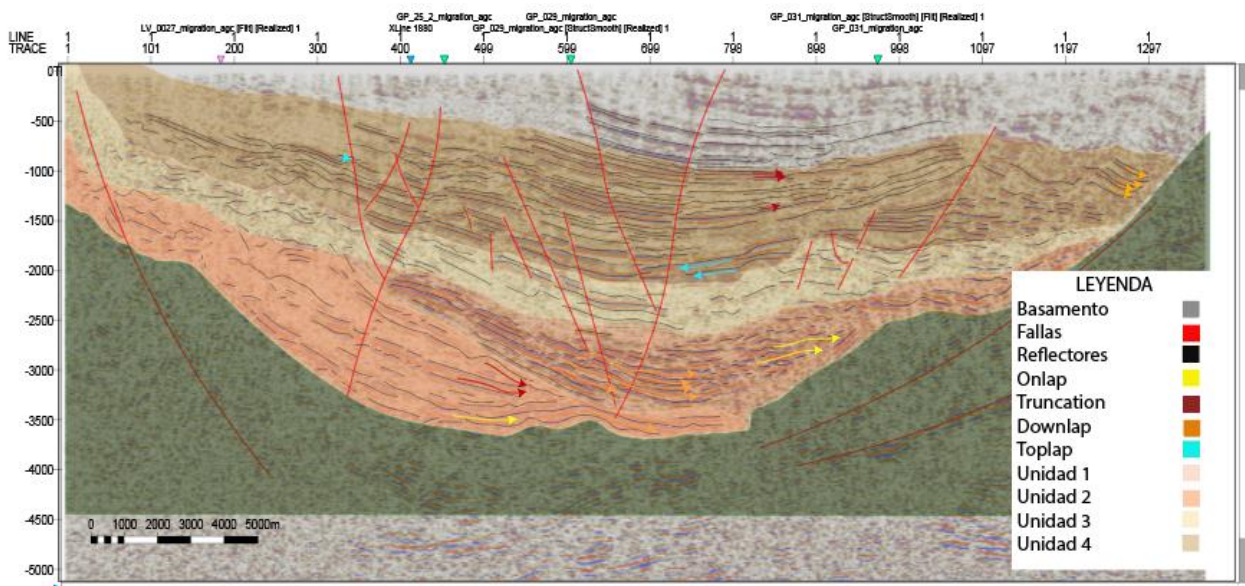


Fig. 10 Línea 34 analizada sismo-estratigráficamente.

Se mantiene la continuidad de las 4 unidades sismo tectónicas a lo largo de la Fig. 10. A continuación, la descripción de los reflectores:

- Unidad 1: izquierda muestra configuración hummocky clinoforms y los reflectores se truncan en una superficie erosiva. Ambiente sedimentario: posiblemente parte alta de la plataforma y continental.
- Unidad 2: está no aflora a superficie y se yuxtapone de manera erosiva a la unidad 1. La configuración de los reflectores es tangencialmente oblicua y terminaciones de downlap. Ambiente sedimentario: Parte alta de la plataforma.
- Unidad 3: a lo largo de esta unidad los reflectores no se muestran continuos, configuración hummocky clinoforms y contorneada. Ambiente sedimentario: parte alta de la plataforma.
- Unidad 4: izquierda la configuración es contorneada y presencia de toplap, en el centro los reflectores son subparalelos y se evidencia truncaciones de los reflectores. Ambiente sedimentario: parte superior de la Plataforma.

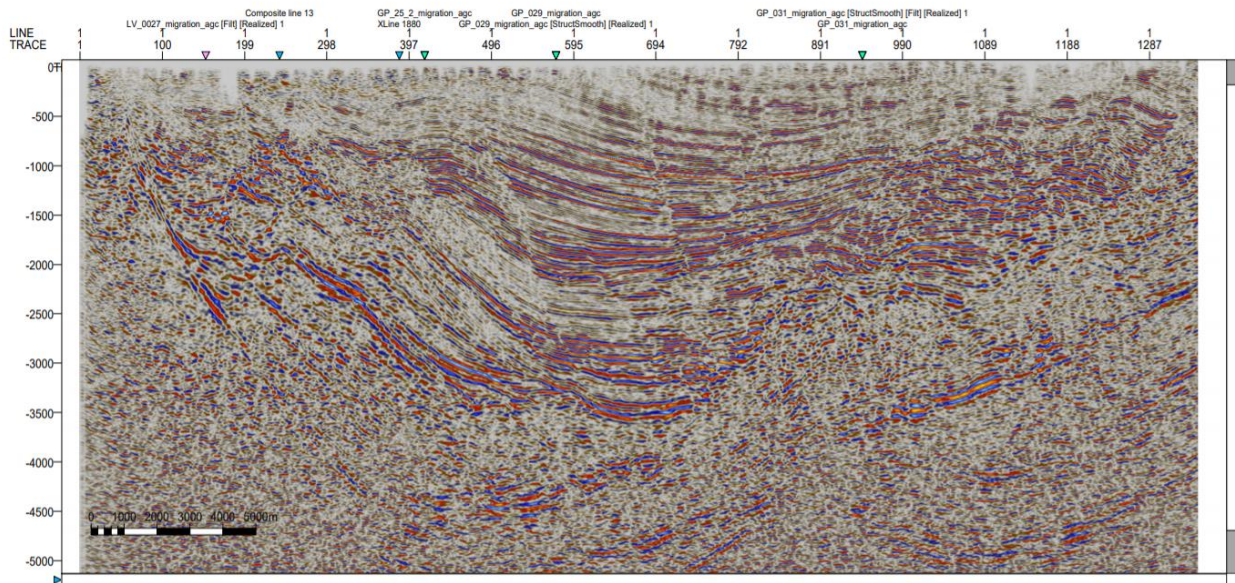


Fig. 11 Línea 36 sin análisis de estructuras y unidades geológicas

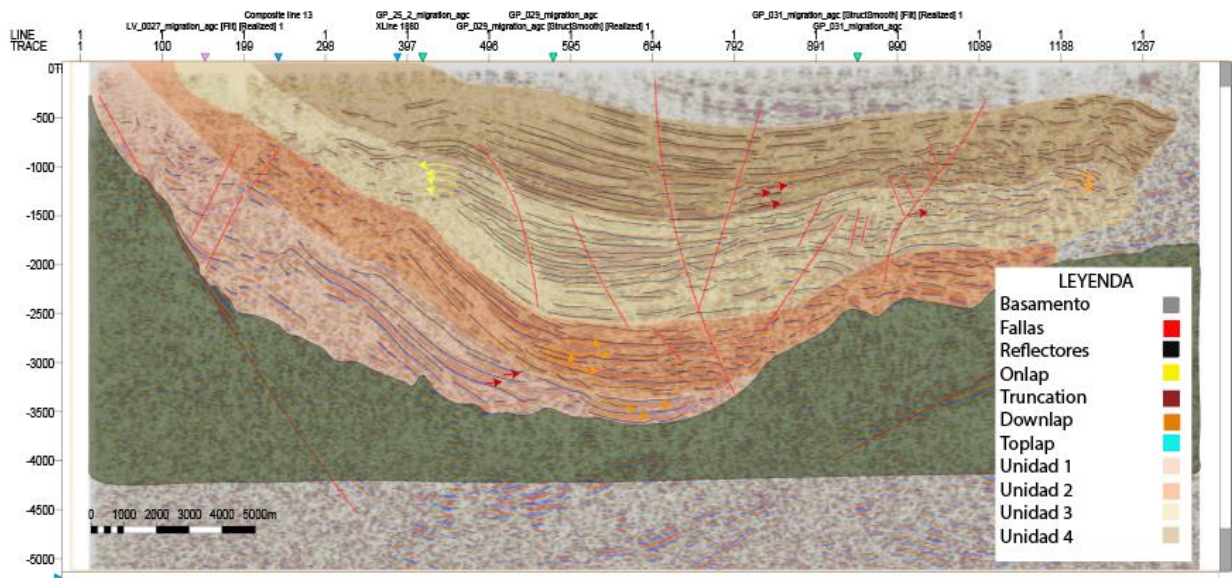


Fig. 12 Línea 36 analizada sismo-estratigráficamente.

Para esta línea se realizó el análisis de los reflectores dentro de las unidades observadas. Posteriormente, se lo relacionó con un perfil en superficie realizado por el

estudiante Kevin Castillo, quien tomó datos de buzamiento de superficie para la elaboración de este.

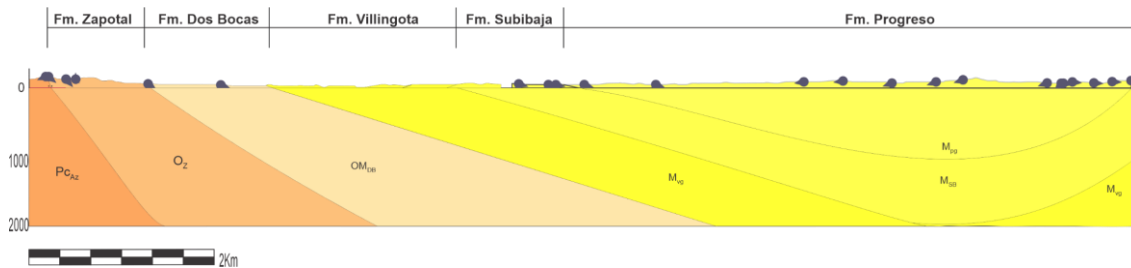


Fig. 13 Perfil de superficie de la línea 36, basado en datos de rumbo y buzamiento. (Realizado por Kevin Castillo)

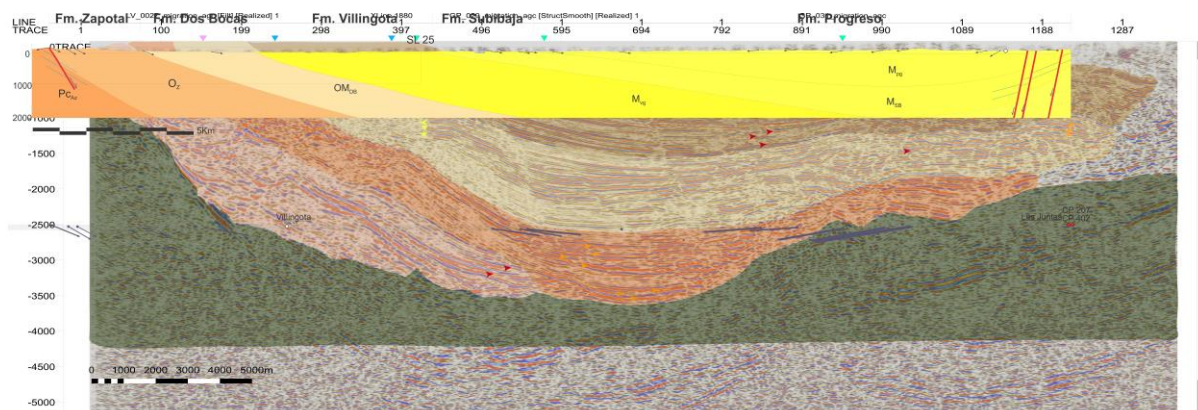


Fig. 14 Relación del perfil con la sísmica. (Realizado por la autora)

- Unidad 1: comienza teniendo una configuración hummocky clinoforms, luego se evidencian downlap que terminan en truncaciones. La superficie de esta es erosiva. Ambiente sedimentario: posiblemente parte alta de la plataforma y continental en el oligoceno. Al relacionarlo con el perfil la formación que aflora es: Zapotal.

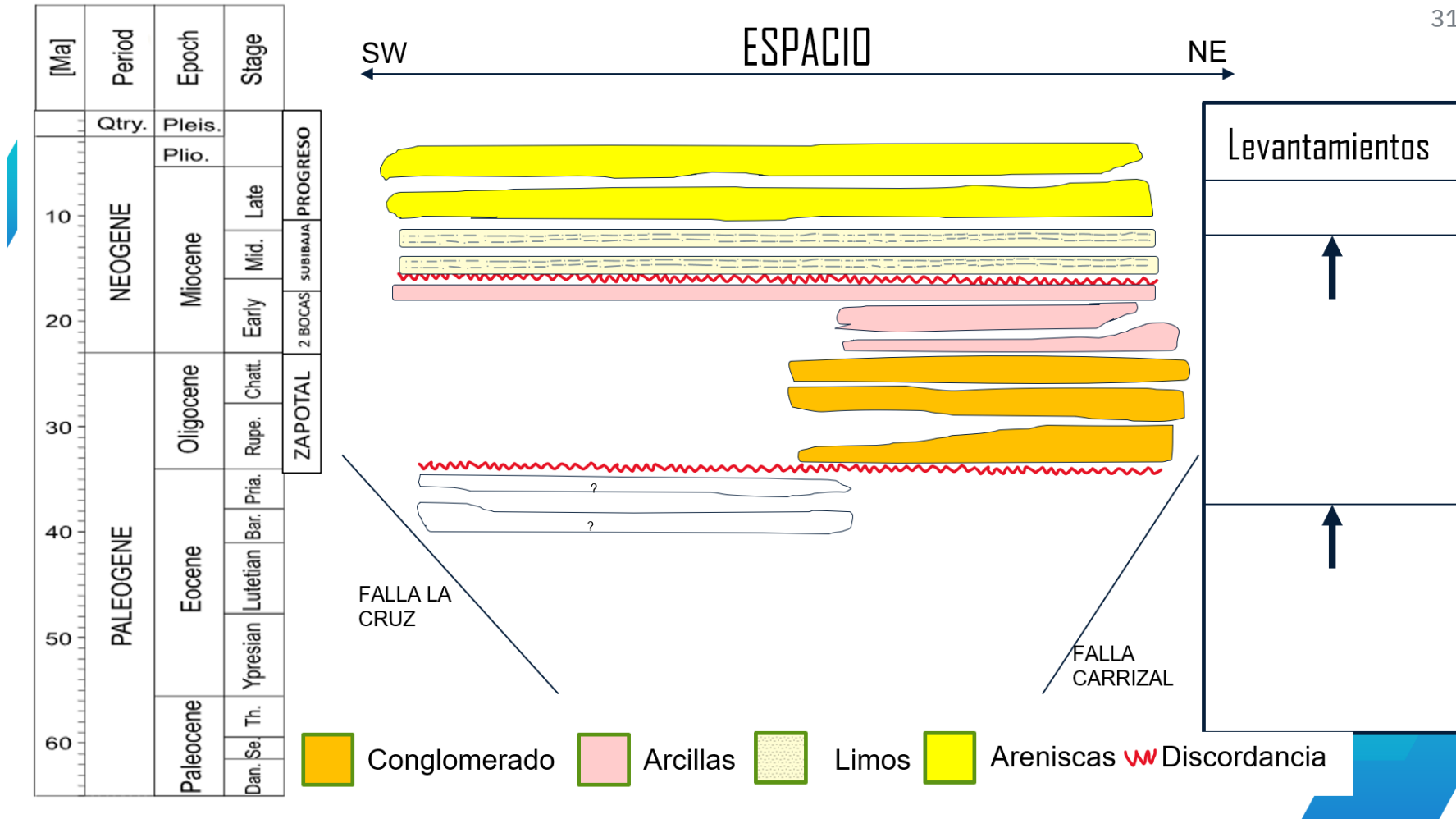
- Unidad 2: al inicio es hummocky clinoforms, luego la configuración cambia a tangencial oblicua que se evidencian por downlaps, al finalizar esta unidad los reflectores son disruptivos. Ambiente sedimentario: Parte alta de la plataforma en el Mioceno. La formación que aflora es Dos Bocas.
- Unidad 3: en el centro de la unidad los reflectores son muy paralelos y terminan siendo contorneados a la derecha. Ambiente sedimentario: parte alta de la plataforma en el Mioceno. La formación que aflora podría ser Villingota.
- Unidad 4: en el centro de la unidad todos los reflectores son paralelos y se diferencia de la unidad precedente pues hay una superficie erosiva que es evidente por los reflectores de truncación. Al finalizar la unidad se vuelven los reflectores hummocky clinoforms. Ambiente sedimentario: parte superior de la Plataforma en el Mioceno. Respecto al perfil de superficie, las formaciones que afloran serían Subibaja y Progreso.

Desde la perspectiva de (Witt et al., 2019) que menciona la vergencia de los sistemas de empujes y procesos acrecionales que tiene el sistema, en el presente estudio son evidentes las estructuras normales, como las flores que muestran un sistema extensional hacia el centro de la cuenca; y al oeste la presencia de estructuras inversas que muestran un sistema compresivo; en todas las líneas de estudio son notorias las fallas de rumbo.

La descripción de los resultados obtenidos se justifica plenamente desde la propuesta de (Jaillard, E. y Mascle, 1994) que menciona las características de las unidades sismo – tectónicas y que afloran en superficie, correspondiéndose los datos en su mayoría, sin embargo, en la línea 34 se evidenció una diferencia puesto que la unidad 2 no aflora a superficie, lo que indicaría una variación estratigráfica y cronoestratigráfica.

Por otro lado, la información teórica planteada por (Aguilar & Aleman, 2009) proporciona datos del sistema petrolífero de la Cuenca, en donde indica que la formación Dos Bocas en donde se realizaron núcleos continuos existiría más de 700 pies de roca madre con alto contenido de COT. En el lado NO de las líneas, se evidenciaba a los reflectores como posibles reservas de gas y petróleo, los cuales se sugiere realizar un estudio a mayor profundidad.

En base al análisis realizado y por la caracterización de los reflectores se realizó el esquema cronoestratigráfico.



Se procede a hacer el análisis de la unidad inferior a la superior y se nombra las formaciones por la relación del perfil de superficie y la línea sísmica #36

- Se colocó en la edad de Eoceno puesto que la parte superior guarda todas las características del oligoceno y es un conglomerado. Con relación al espacio, se presenta de SW a NE, y a mitad de la cuenca se truncan los reflectores, esto fue visible en la línea 34 y a su vez hacen onlap con el basamento acústico.
- Existe una discordancia muy notoria entre ambas formaciones, evidente en todas las líneas.
- Posteriormente, está la formación Zapotal esta se ubica al NE pues se deposita ahí, además vemos reflectores continuos, se caracteriza por conglomerados. Se indica un levantamiento, ya que es el inicio de la formación de la cuenca.
- Se superpone la formación Dos Bocas, caracterizada por una litología de arcillas que comienza su deposición al NE y a medida que decrece la profundidad se distribuye a lo largo de la línea.
- En la línea 32, se mostraron los reflectores que se truncaban y se encontraban entre sí, esto sugiere una discordancia y superficie erosiva.
- Luego vienen las formaciones subibaja y Progreso que son más continuas en sus reflectores. Subibaja es de limos y Progreso de areniscas.
- A la derecha se marca los levantamientos significativos:

-EOCENO: es evidente por la posición de los estratos y recordemos que también tenemos la falla la cruz a la izquierda.

-MIOCENO: por variación en el tamaño de los estratos sobre todo en el centro de la Cuenca.

Se lo compara con la columna estratigráfica propuesta por Aizprua et al. (2019) y se evidencia notorias diferencias entre el cronoestratigráfico planteado en este proyecto y la de la (Fig.3). La anterior muestra una deposición continua y sin discordancias entre sí; sin embargo, en el análisis de la sísmica son bien marcadas las discordancias y superficies erosivas, además de la distribución areal de las formaciones.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se delimitaron 4 unidades sísmicas que a través de una relación con los datos de superficie (rumbo y buzamiento) se determinó las edades de las formaciones que van desde el eoceno hasta el neógeno. Desde el análisis de las líneas sísmicas, la segunda unidad a la cuarta representa un ambiente deposicional, correspondiente a la plataforma alta continental a diferentes profundidades, por otra parte, la primera unidad al presentar los reflectores discontinuos y disruptivos no se puede precisar su ambiente deposicional.
2. En las líneas sísmicas se evidenció la influencia del alto de Santa Elena al oeste y del alto de Chongón Colonche al este provocando sistemas extensionales y transcurrentes en las depositaciones de las unidades sísmicas, originando estructuras tectónicas que son evidentes a lo largo de las líneas analizadas.
3. Realizado el esquema cronoestratigráfico, basado en el análisis de la sísmica, se determinó la distribución areal y temporal de las formaciones presentes en la Cuenca Progreso, identificándose dos discontinuidades 1) posiblemente entre el Eoceno Medio y el Oligoceno y 2) en el Mioceno medio. Ambas discordancias definidas a partir de datos de campo, pero poco evidenciadas en el subsuelo en estudios previos. Por otra parte, también se evidencia la posición discontinua de las formaciones a lo largo del tiempo, éstas en otras investigaciones aparecen de manera continua. De esta manera se actualizó la información de la zona con respecto a la cronoestratigrafía.

RECOMENDACIONES

1. Hay que destacar la importancia que tiene el uso de software para este tipo de investigaciones por tal razón se recomienda que las instituciones de educación superior realicen convenios con empresas desarrolladoras de este tipo de software para que sean de fácil acceso y de libre uso a los estudiantes.
2. Si bien es cierto la investigación teórica-bibliográfica ha sido la base sólida para este trabajo; sin embargo, se sugiere que para futuras investigaciones exista un estudio de campo que complemente este trabajo.
3. Para la configuración del esquema cronoestratigráfico se propone el uso de lineamientos universales de la estratigrafía secuencial para la identificación de estructuras, reflectores y facies sísmicas de tal manera que la información tenga un lenguaje común dentro de la comunidad profesional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, R., & Alemán, A. (2009). Evolución Tectonoestratigráfica y Sistema Petrolífero de la Cuenca Progreso en Ecuador y Perú. 1–12. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=44590>
2. Aizprúa, C., Witt, C., Johansen, S. E., & Barba, D. (2019). Cenozoic Stages of Forearc Evolution Following the Accretion of a Sliver From the Late Cretaceous-Caribbean Large Igneous Province: SW Ecuador-NW Peru. *Tectonics*, 38(4), 1441–1465. <https://doi.org/10.1029/2018TC005235>
3. Chapp, E., Taylor, B., Oakley, A., & Moore, G. F. (2008). A seismic stratigraphic analysis of Mariana forearc basin evolution. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9(10), 1–27. <https://doi.org/10.1029/2008GC001998>
4. Cotrina Timm, J. (1986). Informe de interpretación sísmica de la Cuenca Progreso (p. 20).
5. Eberli, G. P. (2001). STRATIGRAPHY WITH CORES AND LOGS. 70, 25.
6. Goudswaard, W., & Jenyon, M. K. (1988). Seismic Atlas of structural and stratigraphic features (p. 293).

7. Gutscher, M. A., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. Y. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: Impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 168(3–4), 255–270. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(99\)00060-6](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00060-6)
8. Jaillard, É., Benítez, S., & Mascle, G. H. (1997). Les déformations paléogènes de la zone d'avant-arc sud-équatorienne en relation avec l'évolution géodynamique. *Bulletin de La Societe Geologique de France*, 168(4), 403–412.
9. Jaillard, E., Petroecuador, O.-, Alpines, C., & Mascle, G. (1994). Evolución geodinámica de la costa ecuatoriana prefacio. 301, 1–228.
10. Jiang, S., Weimer, P., Henriksen, S., & Hammon, W. (2012). 3D SEISMIC STRATIGRAPHY AND EVOLUTION OF UPPER PLEISTOCENE DEEPWATER DEPOSITIONAL SYSTEMS, ALAMINOS CANYON, NORTHWESTERN DEEP GULF OF MEXICO. 99, 100.
11. Jiménez, N. (1985). Corte Estratigráfico de la cuenca Progreso. Universidad Central del Ecuador.
12. López, M. C. (2016). Análisis estructural de la cuenca Progreso. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

13. Luzieux, L. D. A., Heller, F., Spikings, R., Vallejo, C. F., & Winkler, W. (2006). Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, 249(3–4), 400–414. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.07.008>
14. Ordoñez, M., & Berrones, G. (1995). Basin Development in an Accretionary, Oceanic-Floored Fore-Arc Setting: Southern Coastal Ecuador During Late Cretaceous-Late Eocene Time. 615–631.
15. Small, J. (1962). Stratigraphy of Southwest Ecuador and Ancon oil field studies (p. 115).
16. Vallejo Cristian, Spikings Richard, Horton Brian K., Luzieux Leonard, Romero Christian, Winkler Wilfried, T. T. B. (2019). Late Cretaceous to Miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment. 74, 535–546.
17. Veeken, P. C. (2007). Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration. In *Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration* (Vol. 37). [https://doi.org/10.1016/S0950-1401\(07\)80025-5](https://doi.org/10.1016/S0950-1401(07)80025-5)
18. Witt, C., Reynaud, J. Y., Barba, D., Poujol, M., Aizprua, C., Rivadeneira, M., & Amberg, C. (2019). From accretion to forearc basin initiation: The case of SW

Ecuador, Northern Andes. *Sedimentary Geology*, 379, 138–157.

<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.11.009>

19. Zeng, H. (2010). Frequency-Dependent Seismic Stratigraphy for High-Resolution Interpretation of Depositional Sequences*. 40501.

20. Zorrilla, J. (1999). Precisiones bioestratigráficas de la formación dos bocas. Universidad de Guayaquil.