

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CUENCA PROGRESO -SECUENCIAS
PALEÓGENAS”**

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN GEOLOGIA

Presentado por:

María Cristina López Coronel

GUAYAQUIL – ECUADOR

2016

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por haber sido mi motor, mi protector y mi fortaleza durante todo este camino

A mis padres, que pese a la distancia, han sabido llevarme de la mano cada día de mi carrera y que con amor han corregido mis faltas y aplaudido mis triunfos.

A mi hermana, por su apoyo incondicional, por los consejos, la compañía y por ser siempre más que una hermana, una amiga.

A todos mis profesores, de manera especial al Ing. Galo Montenegro, por su disposición y amabilidad, sin la que este proyecto no estaría completo.

Al M. Sc. Carlos Aizprúa, tutor de proyecto, quien con mucha paciencia y ánimos de ayudar fue mi guía en el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

A ti Papi, por ser el pilar sobre el que se sostiene mi vida, mis logros son tuyos también.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ph. D. Carlos Martillo
PRESIDENTE

M.Sc. Carlos Aizprúa
TUTOR DE PROYECTO

Ing. Galo Montenegro

VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

María Cristina López Coronel

RESUMEN

La Cuenca Progreso, definida como una cuenca de antearco localizada en la costa ecuatoriana, presenta una configuración particular indicando una evolución tectónica compleja. El área ha sido estudiada principalmente en base a datos de campo, limitados muchas veces a aquellos presentes a lo largo de la línea de costa, y por tanto carece de un estudio estructural de carácter regional que incluya datos del subsuelo. El presente estudio se enfoca en secuencias del Paleógeno, como objetivo principal, donde se busca identificar los estilos estructurales de la zona, así como definir las orientaciones estructurales y de los esfuerzos que las generaron. Esto, partiendo de la integración de datos de campo e interpretación sísmica estructural, con lo que se realizó un análisis de inicio de actividad de fallas y la elaboración de diagramas de rosas para definir las direcciones principales de los datos encontrados. En total se interpretaron más de 100 fallas, las cuales muestran un carácter extensional, de las cuales el 34% tienen un inicio de actividad entre Eoceno y Eoceno medio, 46% en Oligoceno y 20% Posteriores a Oligoceno; mientras que al Oeste de la cuenca se interpretan altos estructurales y fallas inversas de edad eocénica, con estilo estructural compresivo, controlado por fallas antiguas de desplazamiento, definiendo en general un arreglo tipo "wrench" (según la clasificación de Harding & Lowell, 1979)

Para el Paleoceno se define una compresión en sentido NO-SE, con una componente de cizalla en la misma dirección; en el Eoceno se define tanto deformación de tipo extensional en sentido NNE-SSO por la apertura de la cuenca, como compresional al O de la misma en sentido NO-SE y para el Oligoceno, extensión NE-SO, con variación NNE hacia la sección Sur de la zona de estudio; cambios dados por la acción de fallas transcurrentes interpretadas en el proyecto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE MAPAS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
1 CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Situación geográfica del área de estudio.....	2
2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Geología Regional.....	4
2.2 Marco Estratigráfico.....	8

2.2.1	Formación Piñón	9
2.2.2	Formación Cayo	11
2.2.3	Formación Guayaquil	12
2.2.4	Grupo Azúcar	12
2.2.5	Grupo Ancón	14
2.2.6	Formación Tosagua	15
2.3	Evolución Tectónica.....	16
3	CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	18
3.1	Datos utilizados	18
3.2	Metodología utilizada	21
3.2.1	Interpretación de los datos sísmicos	21
3.2.2	Análisis de esfuerzos	24
3.2.3	Inicio de actividad de fallas	25
4	CAPÍTULO 4: RESULTADOS	27
4.1	Interpretación Sísmica	27
4.2	Salidas de campo	35
4.3	Inicio de actividad de fallas	41
4.4	Análisis de Resultados.....	42
5	CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN	45

5.1	Paleoceno.....	47
5.2	Eoceno.....	47
5.3	Oligoceno.....	48
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
	ANEXOS.....	52
	ANEXO I Mediciones de campo de fallas del Grupo Azúcar	53
	ANEXO II Mediciones de datos de campo de fallas del Grupo Ancón.....	54
	BIBLIOGRAFÍA.....	59

ABREVIATURAS

CPB	Clay Pebble Beds
CCO	Cordillera Chongón-Colonche
2D	Dos Dimensiones
EP	Empresa Pública
F	Falla
CCPP	Falla Cosanga-Chingual-Pallatanga-Puná
F3	Falla dextral, atravesando la Cuenca Progreso
F2	Falla inferida al Oeste de CCO
F1	Falla referente a CCPP
Fm.	Formación Geológica
3D	Tres Dimensiones

SIMBOLOGÍA

cm/año	Centímetros por año
E	Este
ENE	Este-Noreste
°	Grados
Km ²	Kilómetros cuadrados
Ma	Millones de años
NE	Noreste
NNE	Nor-Noreste
NO	Noroeste
N	Norte
O	Oeste
OSO	Oeste-Suroeste
%	Porcentaje
S	Sur
SE	Sureste
SO	Suroeste
SSO	Sur-Suroeste

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación del área de estudio (Modificado de Benitez, 1995)	3
Figura 2.1 Arreglo geológico de Ecuador, batimetría simplificada y anomalías magnéticas de la Placa de Nazca (Vallejo et al., 2009)	5
Figura 2.2 Unidades morfotectónicas en el área de estudio (Tomada de Benitez, 1995).....	7
Figura 2.3 Columna estratigráfica de la Cuenca Progreso y Península de Santa Elena (Aguilar et al., 2005)	10
Figura 3.1 Metodología utilizada para llegar al análisis estructural del área estudiada	18
Figura 4.1 Perfil sísmico interpretado dentro de Cubo 1 – INLINE 1256	29
Figura 4.2 Perfil sísmico interpretado dentro del Cubo 1, correspondiente a una composición en sentido NNE-SSO	30
Figura 4.3 Fallas interpretadas sobre superficies definidas para A) Paleoceno; B) Eoceno y C) Oligoceno.....	31
Figura 4.4 Perfil sísmico compuesto por las líneas GS-05 a la izquierda y B90-50 a la derecha.....	33
Figura 4.5 Perfil correspondiente al área al O de zona de estudio, representando la línea sísmica 98209820	34
Figura 4.6 Falla de rumbo observada en el área de Playas.....	37

Figura 4.7 Diagramas de rosas correspondientes a mediciones de Paleoceno	38
Figura 4.8 Pliegue erosionado observado en campo, en el que las líneas punteadas amarillas representan los flancos desplazados de la estructura a causa de una falla de rumbo que lo atraviesa (línea punteada en rojo).....	39
Figura 4.9 Observaciones en campo durante las visitas a Anconcito y Acantilados de Ancón.	40
Figura 4.10 Diagramas de rosas para datos medidos en campo del Grupo Ancón. A. Fallas normales; B. Fallas Inversas.....	41
Figura 4.11 Diagramas de rosas para estructuras correspondientes a Eoceno, integración de datos en campo y sísmica	43
Figura 4.12 Diagrama de rosas para fallas normales interpretadas en el Cubo 1	44

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA I Mapa geológico del área de interés y distribución de datos utilizados (Mapa de referencia modificado de Reyes & Michaud, 2012)	18
MAPA II Mapa de fallas para el Eoceno, realizado en base a la interpretación sísmica 2D (Mapa de referencia modificado de Reyes & Michaud, 2012) ...	35
MAPA III Ubicación de los puntos visitados en salidas de campo. A) General Villamil (Playas); B) Pacoa; C) Anconcito y Acantilados de Ancón (Mapa de referencia modificado de Reyes & Michaud, 2012).....	36
MAPA IV Mapa de inicio de actividad de las principales fallas interpretadas en sísmica 2D y 3D (Geología tomada de Reyes & Michaud, 2012)	42
MAPA V Mapa de integración de datos (Geología tomada de Reyes, 2012 y Alvarado, 2012).....	46

INTRODUCCIÓN

La cuenca de antearco Progreso se ubica dentro de la zona intermedia de la Región Costa ecuatoriana, entre las Provincias de Guayas y Santa Elena. Ubicada de forma oblicua al presente margen activo (trinchera) representa una cuenca enigmática en cuanto a su configuración y origen estructural bajo el cual se desarrolló y evolucionó. La cuenca cubre un área de aproximadamente 47 000 Km² y está cubierta por datos de sísmica 2D y 3D los cuales gran parte de la cuenca, y que fueron utilizados dentro del presente estudio.

Este proyecto comprende el análisis estructural, enmarcado dentro de un estudio regional de la Cuenca Progreso llevado a cabo dentro de la ESPOL en forma de proyecto integrador. El objetivo es poder llegar a un entendimiento general de las posibles causas de compleja configuración que presenta la cuenca en estudio.

El área de estudio propuesta (Figura 1.1) representa una zona de interés debido a su contenido hidrocarburífero, encontrándose en ella los bloques petroleros 1, 2, 4 y 5, definidos por la Secretaría de Hidrocarburos del Gobierno ecuatoriano, razón por la cual es de gran importancia tener conocimiento pleno de sus fases de evolución, labor a la que se han dedicado varios autores como (Aguilar, et al., 2005; Benitez, 1995; Jaillard et

al., 1995). Sin embargo, la mayoría de estos estudios se basaron únicamente en información de campo, por lo que este proyecto se propone realizar un análisis estructural a detalle, que comprenda estilos estructurales, inicio de actividad de fallas y orientación de esfuerzos y estructuras, esto integrando datos de campo con interpretación sísmica tanto 2D como 3D, con el objeto de que sirva como base para una re-evaluación de los modelos de evolución tectónica propuestos.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Definición del Problema

La Cuenca Progreso, definida como una cuenca de antearco, muestra una configuración particular, que indica que ha pasado por una evolución estructural compleja. El problema identificado en esta zona de interés petrolífero en Ecuador es que ha sido estudiada principalmente a partir de datos de campo, por lo que carece de un análisis estructural a detalle y además a escala semi-regional que integre datos de perfiles de sísmica del subsuelo y que a su vez permita elaborar un modelo de evolución tectónica confiable.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Definir los principales episodios de deformación a los que se ha visto sometida la Cuenca Progreso durante el Paleógeno, en base a una integración entre datos de campo e interpretación sísmico-estructural.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los estilos estructurales característicos en la zona de estudio.
- Distinguir las direcciones principales de estructuras y de deformación en el área, usando mediciones de rumbo y buzamiento de fallas, tanto aquellas interpretadas en perfiles sísmicos como las observadas en campo.
- Re-evaluar los principales episodios de deformación definidos en estudios previos.

1.3 Situación geográfica del área de estudio

El área de estudio de este proyecto está ubicada en las Provincias de Santa Elena y Guayas, en el suroeste de la región Costa ecuatoriana y corresponde a la Cuenca Progreso, limitada por la Cordillera Chongón-

Colonche al norte y por las fallas La Cruz al Oeste y Carrizal al Este (Figura 1.1), se incluye además en este estudio a la Península de Santa Elena, al Oeste de la cuenca, con el objeto de realizar un análisis a mayor escala.

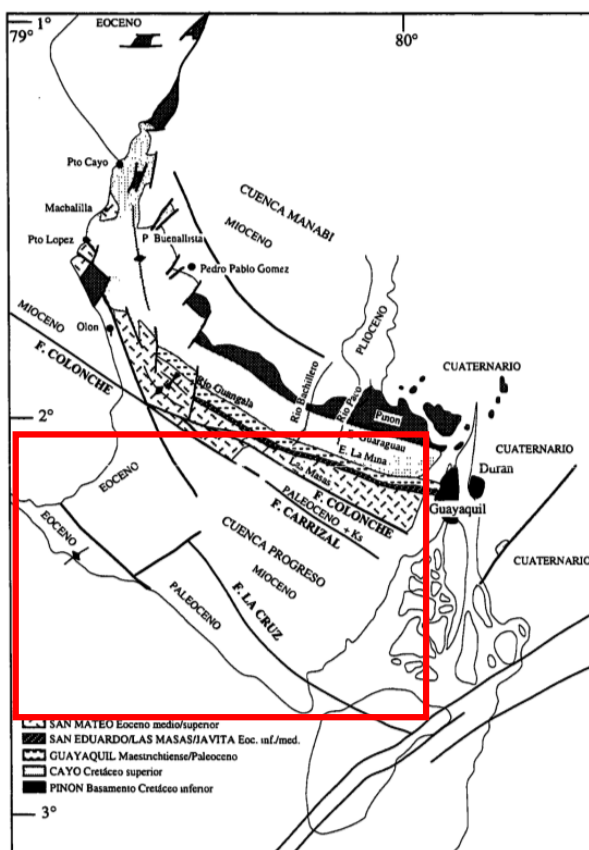


Figura 1.1 Ubicación del área de estudio (Modificado de Benitez, 1995)

CAPÍTULO 2

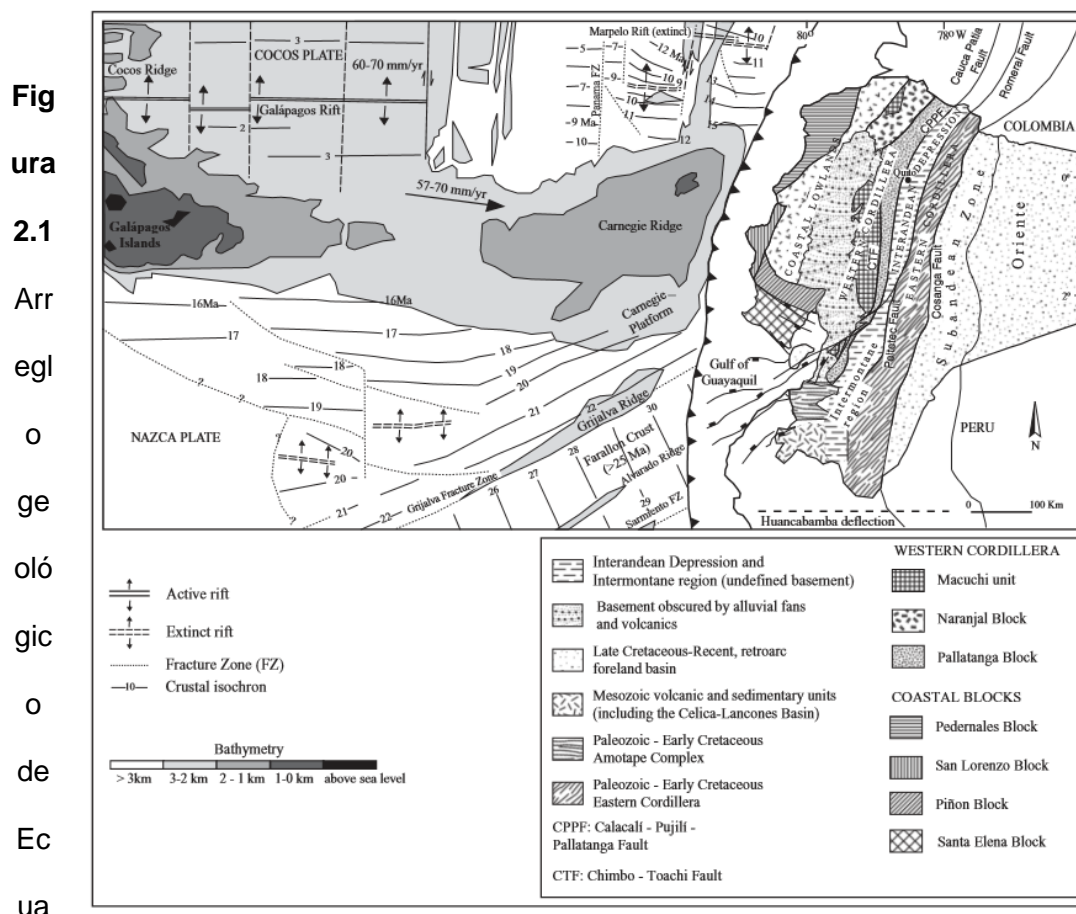
MARCO TEÓRICO

2.1 Geología Regional

Como se puede observar en la Figura 2.1, el Ecuador se localiza al NO de Suramérica, zona cuya tectónica ha estado dominada por la subducción de la Placa oceánica Farallón, ahora Placa de Nazca hacia el E por debajo de la placa Sudamericana a una velocidad actual aproximada de 5 cm/año, ortogonalmente frente al Ecuador y 8 cm/año, diagonalmente frente a Colombia (Daly, 1989; Núñez del Arco, 2003; Trenkamp, Kellogg, Freymueller, & Mora, 2002), en conjunto con la Cordillera asísmica de Carnegie que ha estado subduciendo desde hace 4-5 Ma (Collot et al., 2009)

El margen ecuatoriano, activo desde el Jurásico Tardío (Spikings, Winkler, Seward, & Handler, 2001) ha sido dividido en cinco regiones morfotectónicas (Figura 2.1): la zona plana de la Costa, la Cordillera Occidental, Depresión Interandina, Cordillera Oriental y la Cuenca Oriente (Vallejo et al., 2009), ubicándose el área de este proyecto en la zona costera, misma que ha sido identificada como un terreno alóctono de origen

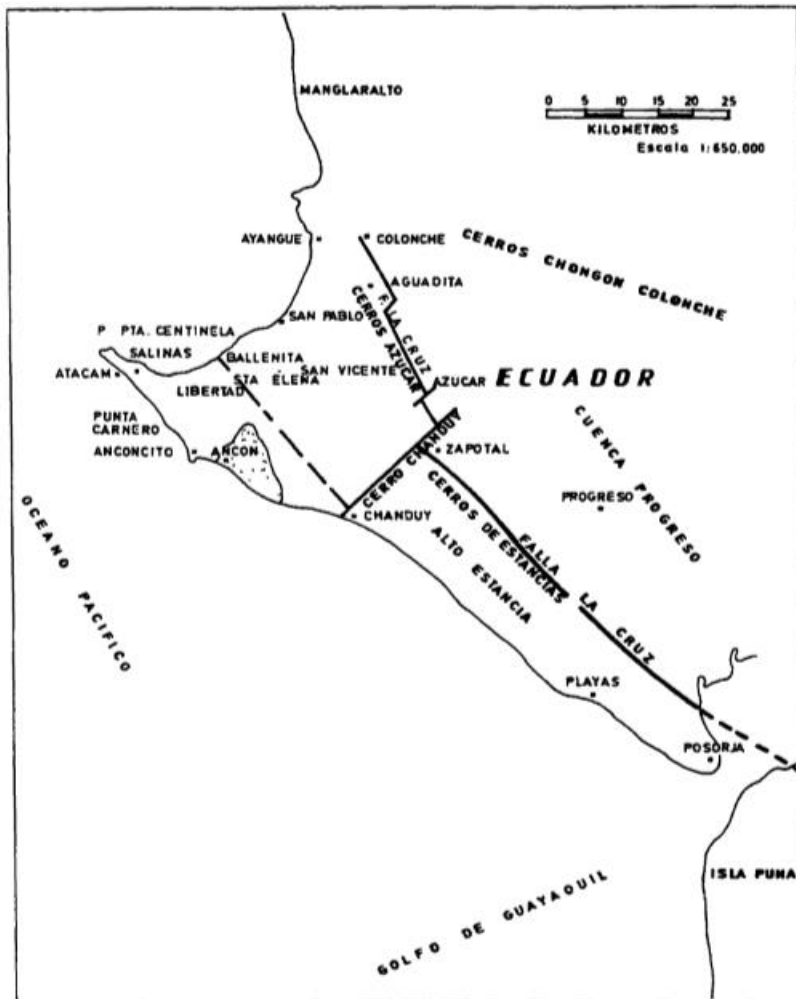
oceánico, acrecionado al margen continental andino durante el Cretácico tardío y Terciario temprano (Jaillard et al., 1995)



dor, batimetría simplificada y anomalías magnéticas de la Placa de Nazca (Vallejo et al., 2009)

Uno de estos terrenos acrecionados corresponde a la Formación Piñón, sobreyacida por los arcos volcánicos San Lorenzo y Cayo de Cretácico Tardío (Jaillard, Benítez, & Mascle, 1997) y por las cuencas de antearco de Borbón, Manabí y Progreso (Deniaud, 2000).

En general, dentro del área de estudio se identifican tres entes morfotectónicos: la Cordillera Chongón-Colonche, el levantamiento de Santa Elena y la Cuenca



Progreso (Figura 2.2).

Figura 2.2 Unidades morfotectónicas en el área de estudio (Tomada de Benitez, 1995)

Dos sistemas de fallas predominan: NE-SO y NO-SE, siendo la Falla de desplazamiento dextral Cosanga-Chingual-Pallatanga-Puná, CCPP (Falla previamente conocida como Guayaquil-Dolores, a la que se le adjudicó el nombre usado en este proyecto a partir de Alvarado, 2012) la más representativa. La Falla Colonche de dirección NO-SE que limita a la Cordillera Chongón Colonche, en conjunto con el movimiento dextral de la Falla CCPP y fallas sinestrales como la Falla La Cruz, han tenido un papel importante en la evolución de las cuencas de antearco (Zumba, 2005).

El levantamiento de Santa Elena comprendería la zona emergida del prisma acrecionario, comprendido entre la falla La Cruz de dirección general NO-SE y la Falla Posorja de dirección NO-SE, ubicada costa afuera en el Golfo de Guayaquil, constituyendo el margen sur de la Cuenca Progreso (Benitez, 1995)

La Cuenca Progreso, es la zona deprimida de antearco limitada al SO con el Levantamiento de Santa Elena y al Norte con la Cordillera Chongón-Colonche, cubriendo un área de 2625 Km² (Benitez, 1995) y con un eje de dirección NO-SE.

2.2 Marco Estratigráfico

El registro estratigráfico en la Cuenca Progreso y las zonas cercanas documenta la compleja historia tectónica del área, con eventos tectónicos que van desde acreciones y colisión de terrenos alóctonos, propagación de un sistema de fosa y arco acompañado de subducción-erosión, desarrollo de una cuenca de antearco con deformación sin-deposicional y desarrollo de

estructuras transpresionales y transtensionales (Aguilar et al., 2005). Estos cambios dieron lugar a una estratigrafía compleja, cuyos componentes principales para la edad estudiada se detallan a partir de la columna estratigráfica de la Figura 2.3.

2.2.1 Formación Piñón

Edad: Albiano-Cenomaniano (Núñez del Arco, 2003)

Constituida principalmente de basaltos afaníticos con estructura almohadilla y diabasas, algunos intrusivos básicos y ultrabásicos, la Fm. Piñón es esencialmente una serie volcánica y varía algo de área en área.

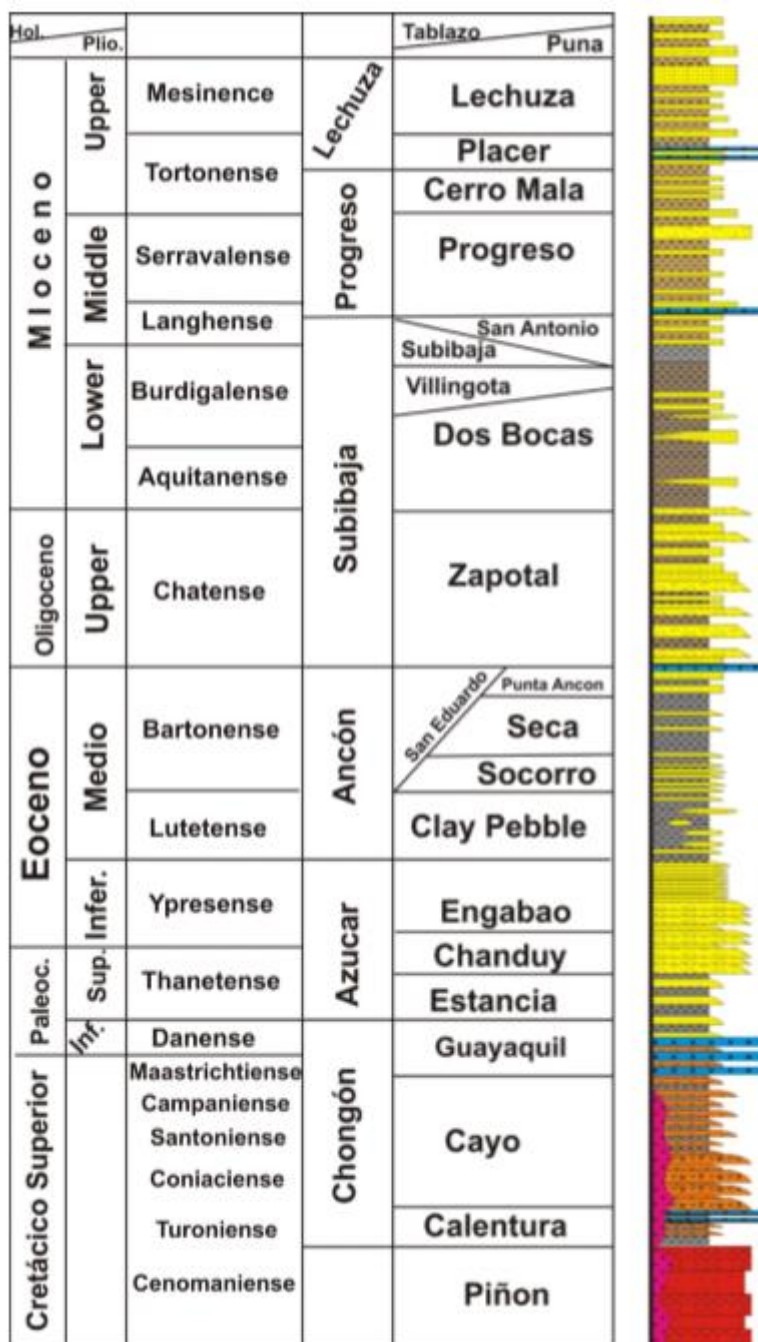


Figura 2.3 Columna estratigráfica de la Cuenca Progreso y Península de Santa Elena (Aguilar et al., 2005)

Cerca de Guayaquil consiste principalmente en flujos de diabasas las cuales se hacen amigdaloidales en esta sección, su parte alta es principalmente de un verde claro, que comúnmente se encuentra alterada por meteorización esferoidal finamente cristalina, con lutitas tobáceas interestratificadas, de color gris a crema rojiza, toba y limolita silicificada, corresponde a un ambiente de plateau oceánico (Núñez del Arco, 2003).

2.2.2 Formación Cayo

Edad: Turoniano-Coniciano (Núñez del Arco, 2003)

Su formación tipo se encuentra en la orilla sur de la bahía de Cayo al SO de Cayo, desde ahí sigue en la Cordillera Chongón-Colonche hasta las cercanías de Guayaquil (Baldock, 1982).

Comprende pizarras arcillosas y tobáceas muy silicificadas de color verde a gris verduzco, areniscas bastas, arenosas, tobáceas hasta conglomeráticas de color pardo a negro y brechas finas (Bristow & Hoffstetter, 1977), además muestra la presencia de turbiditas masivas cíclicas intercaladas con flujos de lava de composición basáltica (Reyes & Michaud, 2012).

Se interpreta que los sedimentos fueron depositados como resultado de la erosión y actividad volcánica contemporánea de un arco inmaduro y movilizado por corrientes turbidíticas en un ambiente de talud continental, la

evidencia de ciclos granocrecientes podría ser indicativa de un abanico de eyección en la plataforma continental (Ordóñez, Jiménez, & Suárez, 2006).

2.2.3 Formación Guayaquil

Edad: Maastrichtiano (Núñez del Arco, 2003)

Consiste de estratificaciones delgadas a masivas, de color gris, habano, verdoso oscuro, gris, y negro, con ínter estratificaciones de lutitas silicosas, arcillita y tobas localmente deformadas, con estructuras sin-sedimentarias y rizaduras (Núñez del Arco, 2003). En el área de la Península de Santa Elena, se ha diferenciado una serie de lutitas silicificadas, que se relacionan con la formación Guayaquil Chert, a la que se le ha dado el nombre local de Formación Santa Elena.

2.2.4 Grupo Azúcar

Edad: Paleoceno-Eoceno Inferior (Núñez del Arco, 2003)

El Grupo Azúcar aflora en el Alto de Santa Elena, principalmente en los cerros de Estancia, Chanduy, Azúcar y Saya, aunque los mejores afloramientos se encuentran en los acantilados al Oeste de Playas (Benitez, 1995). Según (Ordóñez et al., 2006). El Grupo se divide en tres formaciones:

- *Formación Estancia*: Conformada por areniscas grises, micáceas, color rojo ladrillo por meteorización con niveles de guijarros cuarcíticos, que alternan con lutitas negras duras y capas finas de areniscas micáceas con material carbonoso (Benitez, 1995).
- *Formación Chanduy*: Consta de areniscas grises, silíceas, de dureza moderada, conglomerados de cuarcitas, alternancias de arenisca y conglomerados y al tope alternancias de lutitas negras duras con arenisca gris (correlacionada con Fm. Atlanta) (Benitez, 1995).
- *Formación Engabao*: Conformada por areniscas masivas, suaves, de color marrón, intercalaciones de capas delgadas de lutitas y areniscas; a veces predomina la lutita y localmente conglomerado de cuarcitas (Benitez, 1995).

Se definen estas formaciones como depósitos submarinos profundos de origen turbidítico, correspondientes a facies superiores y medias de abanicos submarinos, con dirección de paleocorrientes hacia el N (Moreno, 1983).

2.2.5 Grupo Ancón

Edad: Eoceno Medio y Superior (Núñez del Arco, 2003)

Comprende rocas silicoclásticas, divididas según Benítez, 1995 en:

- *Formación Clay Pebble Beds (CPB):* Se trata de una secuencia diamictítica maciza de matriz arcillosa, con rodados y bloques de superficie pulida, compuestos por cuarcitas negras, areniscas y calcáreos (Marchant & Black, 1960)

CPB se subdivide a su vez en Passage Beds (PB) que corresponde a pelitas duras con estratos delgados de areniscas y Arenisca Santo Tomás consistente de un banco de areniscas de potencias modestas; ambas conocidas únicamente en el subsuelo de Ancón y Santo Tomás respectivamente.

- *Formación Socorro:* Constituida por areniscas turbidíticas delgadas verdosas alternadas con lutitas grises deleznales grises a negras, que sobreyacen la Fm. CPB e infrayacen a las lutitas de la Fm. Seca; corresponde a la transición de abanicos turbidíticos-talud, con depósitos de lóbulos y canales de plataforma (Benitez, 1995).

- *Formación Seca:* Dispuesta en discordancia sobre la Fm. Socorro. Constituida fundamentalmente por arcillolitas gris verdosas con raras intercalaciones de areniscas finas. Estas arcillas tienden a meteorizar en colores amarillo rojizo por la formación y alteración de yeso microcristalino; corresponden a depósitos marinos de plataforma que se intercalan con las facies de abanico submarino (Benitez, 1995).
- *Formación Punta Ancón:* Se trata de areniscas grises con base erosiva con alternancias de pelitas grises, niveles finos de color castaño, correspondientes a depósitos marinos localizados entre la plataforma externa y la parte superior del talud continental (Benitez, 1995).

2.2.6 Formación Tosagua

- *Formación Zapotal:* Edad Oligocénica (Núñez del Arco, 2003). Conformada por areniscas y conglomerados con presencia de fósiles marinos y restos de plantas terrestres. Predominan conglomerados de cherts, y se intercalan areniscas de grano grueso y areniscas tobáceas. También se encuentran lutitas laminadas con intercalaciones de areniscas (Ordóñez et al., 2006). Consta de facies aluviales a marino someras (Ordóñez et al., 2006).

- *Formación Dos Bocas*: Mioceno inferior (Núñez del Arco, 2003). Consiste en lutitas suaves limosas, de color gris, que intemperizadas adquieren color chocolate. Alternan con capas de limolitas y areniscas finas de color amarillo rojizo. Concreciones calcáreas, vetillas de yeso entre lutitas y horizontes de lignito, nos indican depósitos de mar somero (Núñez del Arco, 2003). Se infiere un paleoambiente marino de temperaturas cálidas, desde la plataforma externa al talud continental (Ordóñez et al., 2006).

2.3 Evolución Tectónica

La Cuenca Progreso muestra una configuración particular con respecto al actual sistema de fosa, lo que implica una evolución compleja. Dada esta complejidad se han propuesto diversos modelos, cuyos puntos clave para el período de tiempo estudiado, se resumen a continuación.

Durante el Cretácico Tardío, la costa ecuatoriana registra un evento tectónico que produjo rotación horaria de entre 40-50° según (Luzieux, Heller, Spikings, Vallejo, & Winkler, 2006) y de 70° según (Roperch, Mégard, Laj, & Mourier, 1987), conclusión obtenida por el análisis de datos paleomagnéticos y que afectaría a los bloques de arco de isla Cayo y San Lorenzo.

En este punto, autores como Daly (1989), proponen un margen de convergencia oblicua (que se mantendría durante el Terciario), implicando un gran componente de cizalla de tipo dextral.

Se propone para el Paleoceno tardío, la acreción del arco remanente Cayo al margen continental, causando intensa deformación en la costa sur ecuatoriana, donde eventos tectónicos subsecuentes, en el Eoceno temprano, se estiman como causa del levantamiento de toda el área (Jaillard et al., 1995). Donde se habla además de un período de alta velocidad de convergencia que indicaría la presencia de un margen compresivo para esta edad, en la que la subducción propuesta con pendiente E, salta hacia O (Daly, 1989), concordando con el modelo propuesto por Shepperd & Moberly (1981).

Daly (1989) propone un período de baja velocidad de convergencia durante el Eoceno tardío, por ende, un margen extensional, en el que tiene lugar la formación de cuencas de antearco, margen que se mantendría durante el Oligoceno.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

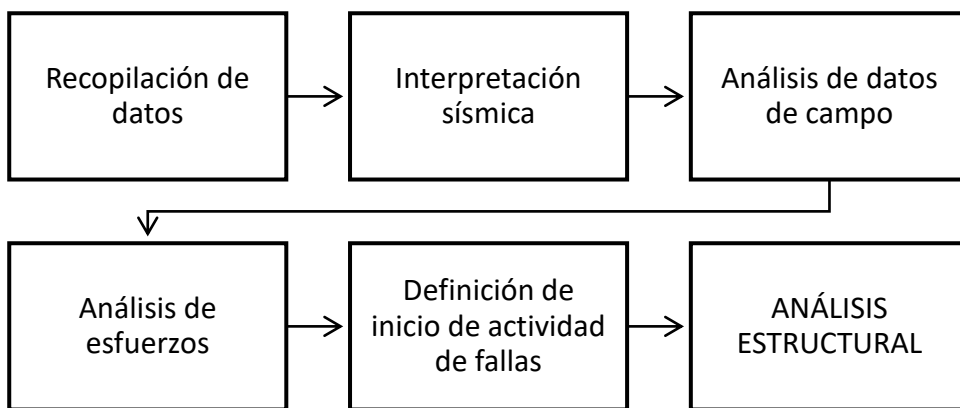
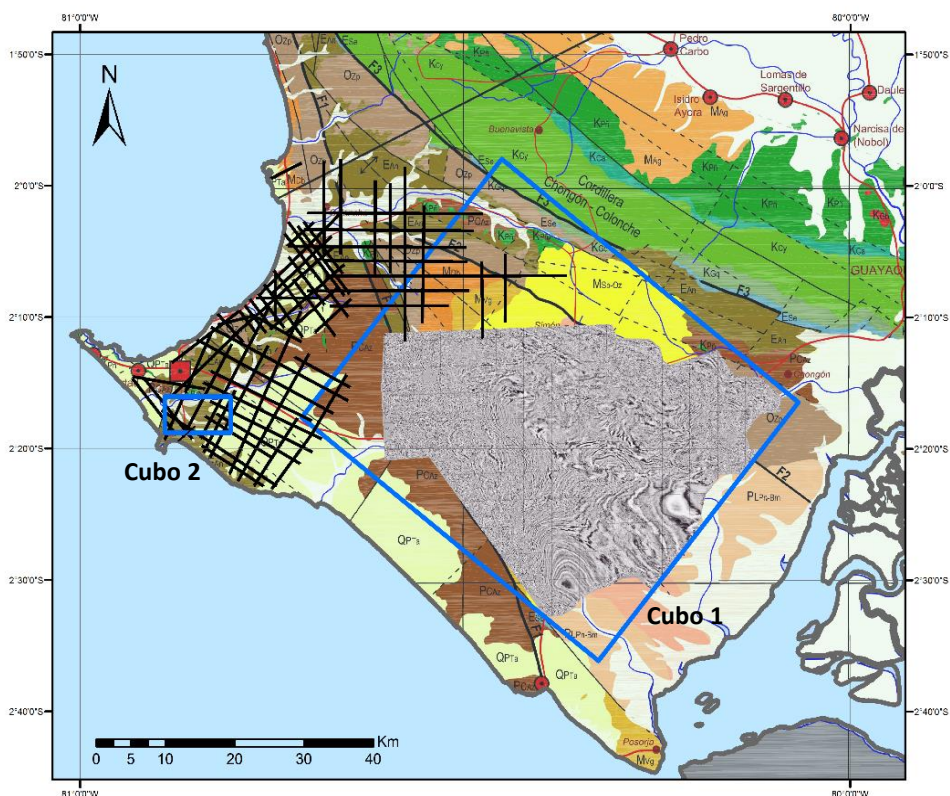


Figura 3.1 Metodología utilizada para llegar al análisis estructural del área estudiada

3.1 Datos utilizados

Para la realización de este proyecto se hizo una recopilación de datos integrando sísmica de reflexión y datos de campo pertenecientes al área de interés definida en la Figura 1.1.

En lo que respecta a los perfiles sísmicos utilizados, se contó con información tanto 3D como 2D, proporcionada mediante convenio con la compañía Petroamazonas EP.



MAPA I Mapa geológico del área de interés y distribución de datos utilizados (Modificado de Reyes & Michaud, 2012)

- Cubo sísmico 3D (al que se le llamará Cubo 1) obtenido en proyecto de exploración de petróleo e investigación realizado por la EP PETROECUADOR y encargado a BGP, en el año 2010, cubriendo un área de 1593 Km², en el interior de la Cuenca Progreso.

- Cubo sísmico 3D (Cubo 2) adquirido en el 2003, cubriendo un área de 30.58 Km².
- 56 líneas sísmicas 2D, obtenidas por PACIFPETROL en 1998 y 2003. Cubriendo la zona Norte y Oeste de la Cuenca.

En el MAPA I se muestran las líneas correspondientes a las campañas ya mencionadas, tomando en cuenta que los datos registrados en el 2010 son de mejor calidad que los datos de perfiles sísmicos 2D, que se encuentran dispuestos con una separación de 2 Km aproximadamente entre la mayoría de ellos.

En lo que respecta los datos de campo, se midieron datos estructurales de fallas, correspondientes a rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento de las zonas de interés. En vista a que la información previa no constituye una base de datos representativa, se procedió a la recopilación de información de estudios previos. La fuente de estos datos se detalla a continuación.

- Salidas de campo al área de Playas, con el objeto de estudiar los afloramientos correspondientes al Grupo Azúcar, en conjunto con la recopilación de datos de campo desarrollados por Moreno (1983).
- Salidas de campo al área de Anconcito y de los Acantilados de Ancón, con el objeto de estudiar los afloramientos del Grupo Ancón, además de la

recopilación de datos medidos en estudios previos (Montenegro, G., comunicación personal, 2016).

- Salidas de campo en la zona de Pacoa, al norte de la Cuenca Progreso.

En lo que respecta a los datos estructurales utilizados en el interior de la cuenca, estos fueron medidos usando el software Petrel, mismo con el que se realizó la interpretación sísmica de los perfiles previamente mencionados.

3.2 Metodología utilizada

3.2.1 Interpretación de los datos sísmicos

La interpretación sísmica básicamente consiste en reconocer continuidades y discontinuidades en los reflectores sísmicos que permitan caracterizar formas y estructuras geológicas. Debido a que la información disponible con el uso de estos datos es extensa, resulta importante optimizar el tiempo de interpretación, concentrándose en los datos pertinentes para el objetivo buscado.

Como indica el nombre de este estudio, su enfoque es estructural, razón por la cual la interpretación sísmica se dirige a la búsqueda de fallas y

estructuras características que permitan crear mapas para definir los estilos estructurales de la zona de interés.

No obstante, es crítico para la interpretación el comparar la interacción entre los horizontes principales y las estructuras interpretadas, proceso que en este proyecto se llevó a cabo de la siguiente manera:

Horizontes clave

A lo largo de la interpretación se buscaron horizontes que definan las edades dentro del período de tiempo estudiado. Dentro del Cubo 1 se utilizan cuatro horizontes que representan:

- (Cretácico)
- Grupo Azúcar (Paleoceno)
- Grupo Ancón (Eoceno)
- Formación Dos Bocas (Mioceno Inferior)

Dentro del Cubo sísmico 1, en el interior de la Cuenca Progreso, los horizontes en mención se obtuvieron en función de proyectos en paralelo al presente, mismos que se desarrollaron con un enfoque más estratigráfico, donde la interpretación corresponde a sus autores (Rivas, C., Benavides, G., Aizprúa, C., comunicación personal, 2016).

Al no contar con pozos que permitan la realización de una relación tiempo-profundidad, la interpretación de horizontes para la sísmica 2D se ve obligada a hacerse en base a fuentes bibliográficas, en este caso en referencia a Gonza (2015), quien en su estudio, en convenio con PACIFPETROL, definió superficies características para el que en este proyecto se denomina Cubo 2; además se usa como referencia el estudio realizado por Zumba (2005), enfocado en el entonces llamado Bloque Gustavo Galindo, en conjunto con la compañía PACIFPETROL.

Identificadas las superficies de interés en estos proyectos, se correlacionaron a los datos usados, donde los reflectores observados se siguieron a lo largo de las líneas sísmicas 2D. Trabajando con:

- Fm. Santa Elena (Cretácico)
- Fm. Atlanta (Paleoceno)
- Fm. Clay Pebble Beds (Eoceno)

Interpretación estructural

Este proceso, para el Cubo 1, fue realizado usando el software Petrel, como ya se había mencionado, usando no sólo perfiles sísmicos, sino también cortes en tiempo, es decir cortes en z del cubo en mención. La calidad de los

datos en la sísmica 2D, favoreció el trabajo con los perfiles en papel; enfocándose en ambos casos la búsqueda de fallas y estructuras para ser relacionadas con los horizontes previamente mencionados.

Con los datos interpretados se elaboraron mapas estructurales en tiempo, para el Paleoceno en el área correspondiente al Cubo 1, Eoceno para todos los datos utilizados y para tope Oligoceno, únicamente en el área correspondiente al Cubo 1.

Obtenida esta información, y con las observaciones realizadas en campo, se definieron los estilos estructurales característicos en el área, usando como base la tabla definida por (Harding & Lowell, 1979).

3.2.2 Análisis de esfuerzos

Con los datos obtenidos a partir de interpretación sísmica y de salidas de campo, se generó una base de datos en la que se detallan: rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento de las principales estructuras (ver Anexos). En base a los datos obtenidos se realizaron reproyecciones estereográficas y diagramas de rosa para identificar las direcciones predominantes de las estructuras estudiadas, así como la dirección del esfuerzo principal, responsable de su generación.

Una proyección estereográfica es usada para mostrar o interpretar la orientación y la geometría de estructuras (Fossen, 2010). Los diagramas de rosa por otro lado, son una representación gráfica estadística similar a los histogramas, para la cual los ejes de orientación se transforman en un círculo, donde la longitud del radio de los intervalos de ángulo mostrados es proporcional a la frecuencia de su orientación.

La elaboración de estas gráficas fue realizada con el software libre GeoRose 0.5.0 perteneciente a YONG Technology y clasificada tanto por zonas como edades de interés.

3.2.3 Inicio de actividad de fallas

La mayoría de fallas parten de fracturas o microfracturas previas, donde un cambio en la magnitud o dirección del campo esfuerzos controla la generación, propagación, rotación o reactivación de otras estructuras, así como su mecanismo de deformación.

Para el análisis entre edad de formación o reactivación de estructuras en este estudio, se partió de la interpretación previa de perfiles sísmicos, en donde el desplazamiento de cada falla entre los horizontes interpretados,

permite asignar una edad de inicio y magnitud de actividad, básica para generación de un análisis estructural a detalle.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 Interpretación Sísmica

Con los horizontes clave ya interpretados, la interpretación sísmica se enfocó en la definición de fallas. El área de estudio se encuentra controlada por una serie de grandes fallas de rumbo, dentro de la cual se definen fallas tanto normales como compresivas, mostradas a continuación según los datos proporcionados.

i) Cubo 1

Partiendo de la interpretación de los horizontes que definen las edades de interés en este estudio además de la historia geológica de la Cuenca Progreso, se identificaron alrededor de 50 lineamientos de fallas, con dirección predominante NO-SE.

En la Figura 4.1 se muestra una línea sísmica en la que se reflejan las estructuras principales encontradas en el Cubo 1, donde se identifican

ciertas fallas que cruzan toda la sección, además de una serie de fallas normales que afectan únicamente a los niveles más recientes, correspondientes a Eoceno y Oligoceno. El inicio de actividad de estas fallas se detalla en la sección 4.3 de este documento.

La figura 4.2 representa una composición dentro del Cubo Sísmico en mención, en la que al igual que en el perfil mostrado en la Figura 5.1, se muestra dominada por una serie de fallas normales, donde la mayoría de ellas no llega a afectar al nivel Cretácico interpretado, mismo que se encuentra previamente deformado, característica presente a lo largo de toda la cuenca. Se observa además, en esta línea, la presencia de estructuras tipo flor negativa, lo que demuestra el carácter transcurrente de las fallas interpretadas.

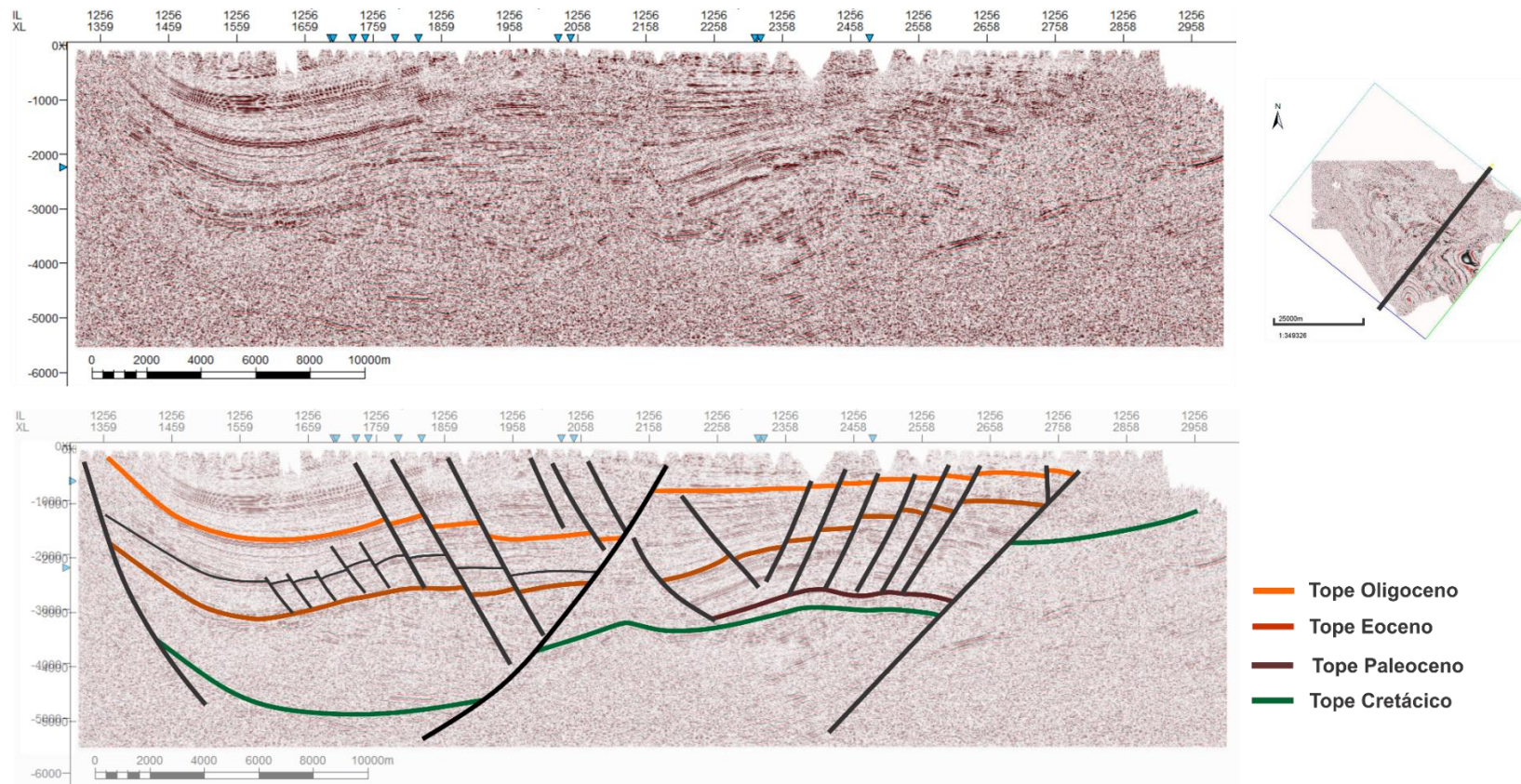


Figura 4.1 Perfil sísmico interpretado dentro de Cubo 1 – INLINE 1256

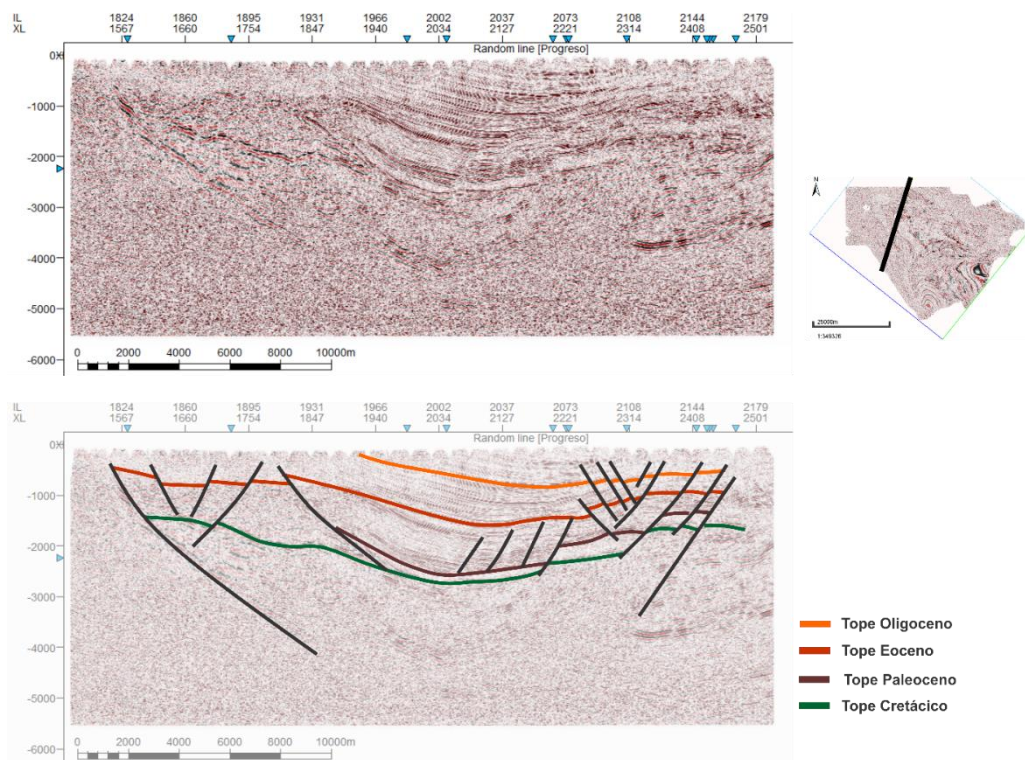


Figura 4.2 Perfil sísmico interpretado dentro del Cubo 1, correspondiente a una composición en sentido NNE-SSO

De la interpretación de fallas, en conjunto con los horizontes facilitados, se pueden realizar mapas estructurales, que facilitan la caracterización del estilo estructural presente en la zona de estudio. Estos mapas, en la Figura 5.3 son realizados al Tope de Cretácico, Tope Eoceno y el Tope Oligoceno sobre las superficies generadas en el software Petrel con estos horizontes,

donde es clara la orientación general NO-SE de las estructuras, además de la presencia de fallas que han cruzado toda la sección y un aumento en el número de estructuras hacia el tope de la sección (Figura 4.3 A).

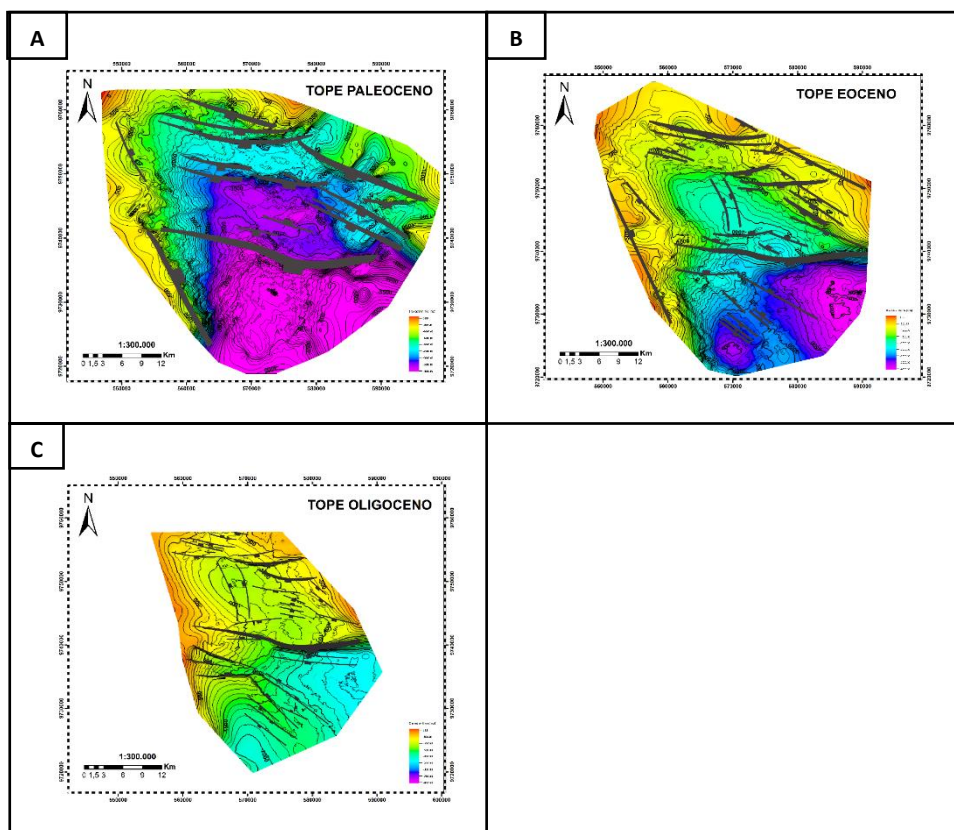


Figura 4.3 Fallas interpretadas sobre superficies definidas para A) Paleoceno; B) Eoceno y C) Oligoceno

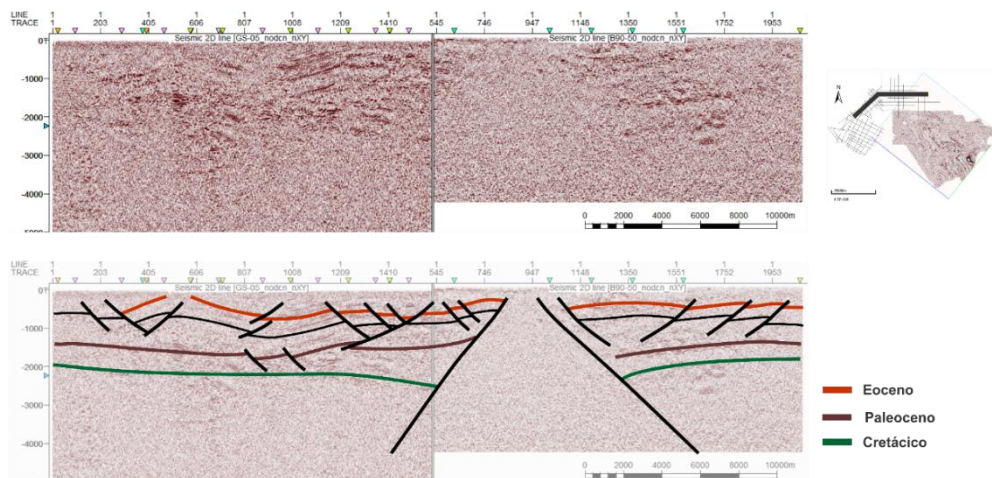
ii) Sísmica 2D

Como se observa en la Figura 3.2, las líneas sísmicas 2D están distribuidas al Norte y Oeste de la Cuenca Progreso, en la Provincia de Santa Elena, para cuya interpretación se usan como referencia los horizontes definidos en el Cubo 2 por Gonza (2015).

Al norte de la cuenca (Figura 4.4), se observan fallas normales, que al igual que en lo interpretado dentro del Cubo 1, en su mayoría no llegan a intervenir con los horizontes Cretácico y Paleoceno, además se observa la presencia de fallas de tipo inverso y pliegues, lo que se podría interpretar como un estilo estructural compresivo.

La interpretación en las líneas E-O del grupo, al tratarse del punto en el que las Fallas limitantes La Cruz y Carrizal convergen, se convierte en una zona complicada, con un alto estructural a cuyo alrededor se definen las estructuras más claras.

Figura 4.4
Perfíl sísmico compuesto



por las líneas GS-05 a la izquierda y B90-50 a la derecha.

Al Oeste de la zona de estudio (Figura 4.5), al igual que en los perfiles mostrados, se tiene un horizonte correspondiente a Cretácico que en el sistema muestra levantamientos tanto al NE, como al NNE, aflorando en la zona correspondiente a Salinas; además, a diferencia de los estilos mostrados anteriormente, se muestran en esta zona, una serie de fallas inversas y plegamientos.

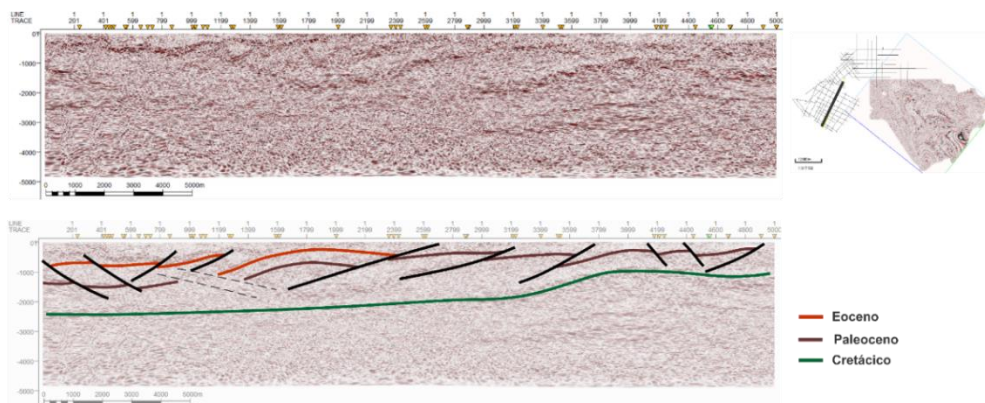
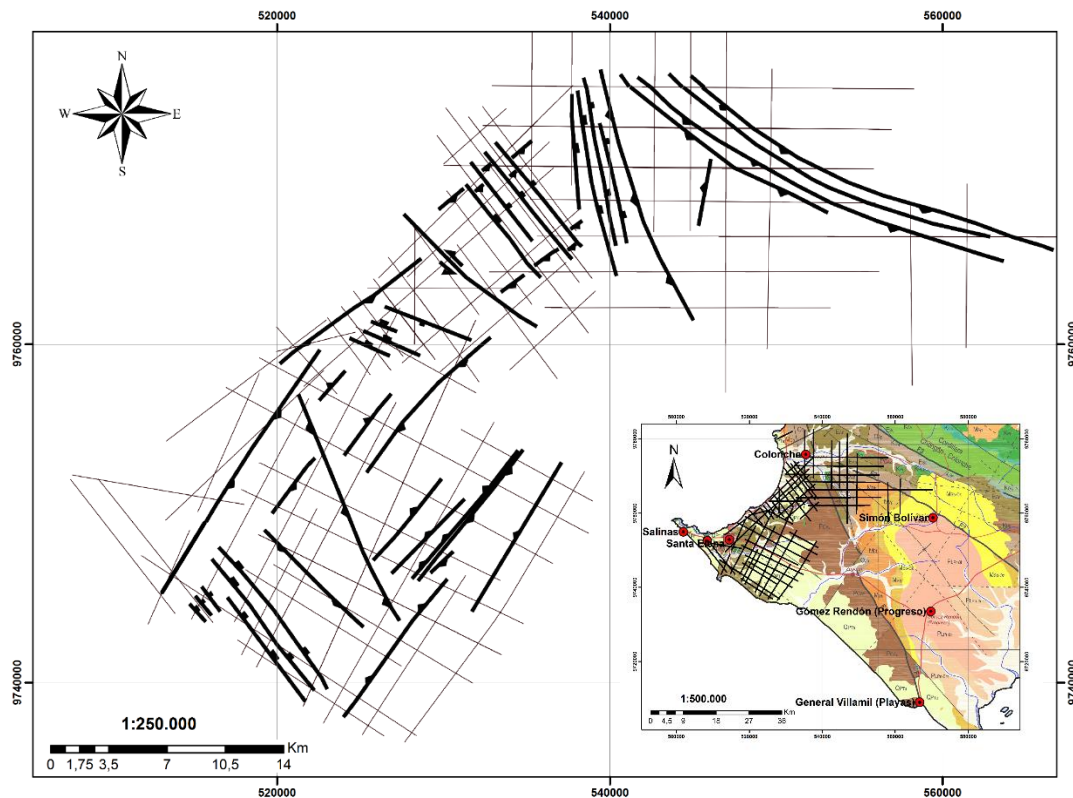


Figura 4.5 Perfil correspondiente al área al O de zona de estudio, representando la línea sísmica 98209820

Se llega entonces a la elaboración de un mapa de fallas en la sísmica 2D, que dada la dificultad de la interpretación y en base a la mayor cantidad de datos, se hace para el horizonte Eoceno, correspondiente a la Fm. CPB, perteneciente al Grupo Ancón. En este mapa (Mapa II) se grafican más de 40 fallas, entre normales, inversas y transcurrentes.

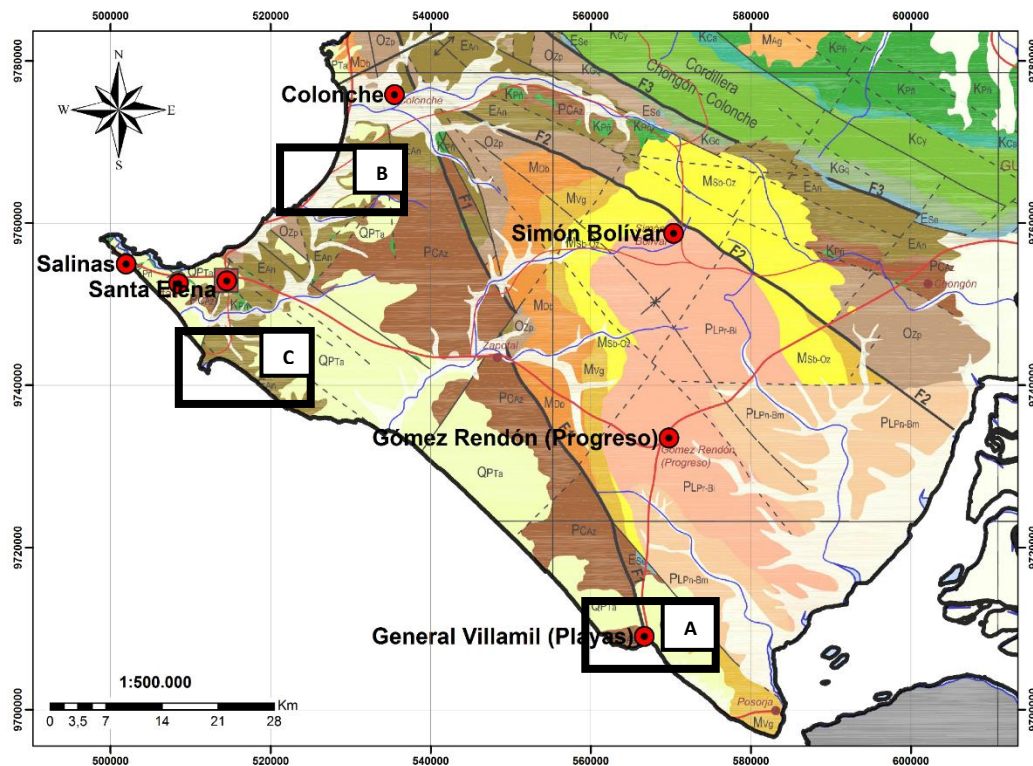


MAPA II Mapa de fallas para el Eoceno, realizado en base a la interpretación sísmica 2D (Mapa de referencia modificado de Reyes & Michaud, 2012)

4.2 Salidas de campo

Durante la realización del proyecto y tal como se explicó en el capítulo anterior, se realizaron salidas de campo a diferentes puntos, con el objeto de reconocer las principales estructuras de cada zona y obtener información correspondiente a las edades estudiadas, que con el objeto de cumplir con la integración de diferentes fuentes de datos para la elaboración del proyecto, esto en conjunto con la recopilación de información bibliográfica.

Los puntos visitados corresponden a la zona de General Villamil (MAPA III A), Pacoa (MAPA III B), Anconcito y los Acantilados de Ancón (MAPA III C).



MAPA III Ubicación de los puntos visitados en salidas de campo. A) General Villamil (Playas); B) Pacoa; C) Anconcito y Acantilados de Ancón (Mapa de referencia modificado de Reyes & Michaud, 2012)

i) General Villamil (Playas)

Las observaciones en esta zona corresponden principalmente a fallas de rumbo, de tipo dextral como se puede observar en la Figura 4.6; se tomaron

datos de rumbo y buzamiento de las estructuras observadas, no obstante, la cantidad de datos registrados no simboliza una muestra representativa de la zona, por lo que se complementó con la información en los mapas realizados por Moreno (1983), teniendo en conjunto más de 50 mediciones, cuyo detalle se encuentra en el Anexo I. Dada la dificultad de interpretación sísmica concerniente al horizonte Paleoceno, esta se convierte en la única fuente de datos de esa edad.



Figura 4.6 Falla de rumbo observada en el área de Playas s

Teniendo entonces, de la información obtenida los diagramas de rosas en la Figura 4.7, donde se observa una tendencia NE-SO tanto de fallas normales como inversas, lo que indicaría que la dirección de los esfuerzos responsables de su generación sería NO-SE, por otro lado, las fallas de rumbo utilizadas, muestran una tendencia NO-SE.

S

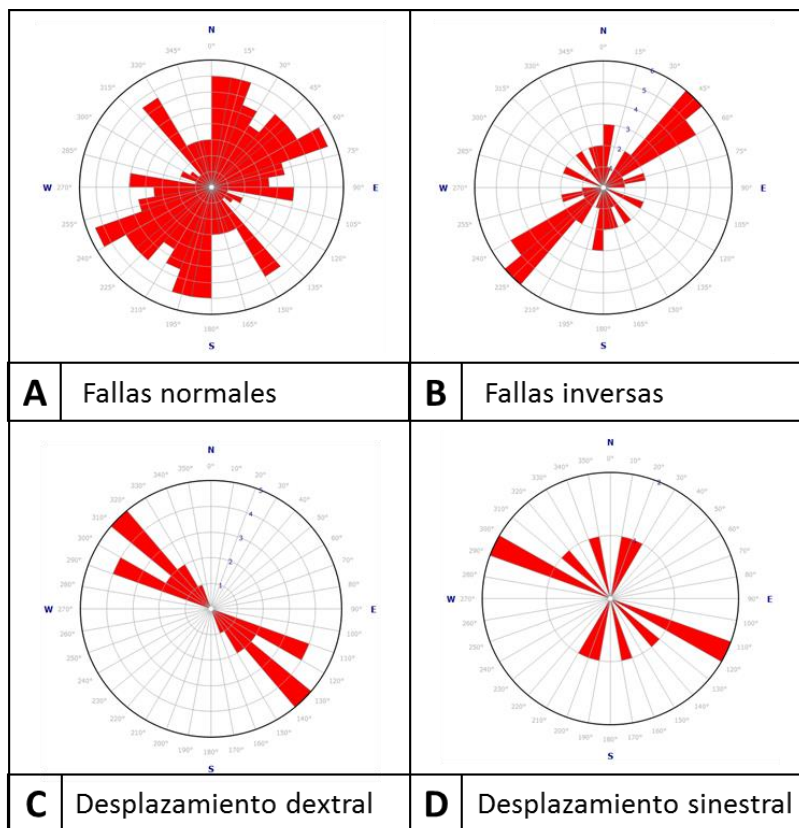


Figura 4.7 Diagramas de rosas correspondientes a mediciones de Paleoceno

ii) Pacoa

Se visitó el Campo Pacoa, ubicado en la localidad del mismo nombre (MAPA III B), en donde las observaciones se centraron en un pliegue cuya charnela no es visible debido a la meteorización en la zona (Figura 4.8), se observa

además que los flancos de esta estructura muestran diferencias en desplazamiento, por lo que se infiere una falla de rumbo, que se comprueba con la interpretación sísmica 2D en ese punto (MAPA III).

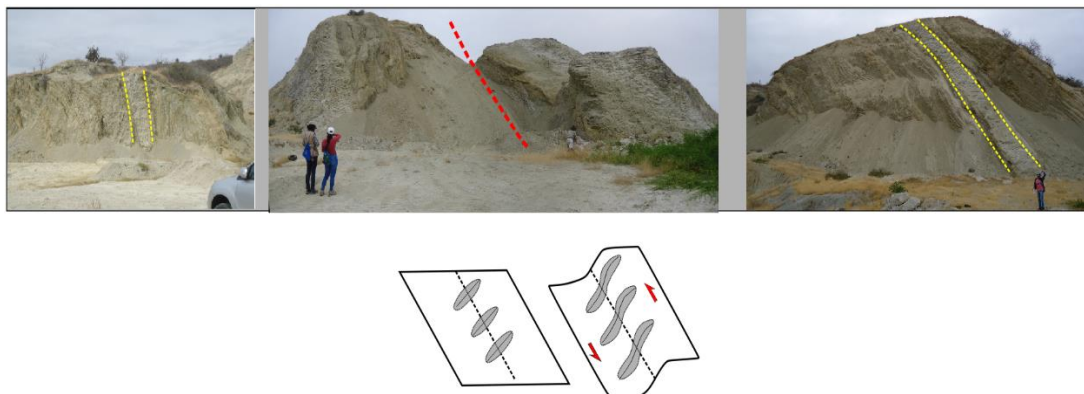


Figura 4.8 Pliegue erosionado observado en campo, en el que las líneas punteadas amarillas representan los flancos desplazados de la estructura a causa de una falla de rumbo que lo atraviesa (línea punteada en rojo).

iii) Anconcito y Acantilados de Ancón.

Las visitas al campo realizadas comprenden una zona relativamente pequeña (MAPA III C), en la que se observan principalmente estructuras generadas por procesos de masa, es decir gravitacionales, además de fallas normales e inversas en menor cantidad (Figura 4.9).

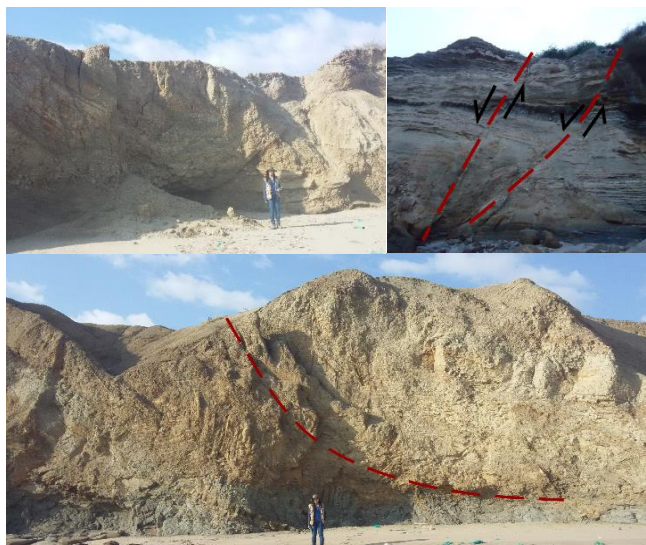


Figura 4.9 Observaciones en campo durante las visitas a Anconcito y Acantilados de Ancón.

Es en conjunto a datos medidos en estudios previos (Montenegro, G., comunicación personal, 2016), que se puede obtener una muestra característica de la zona, en base a la cual se puedan elaborar proyecciones estereográficas y diagramas de rosas (Figura 4.10), para los cuales, las fallas normales muestran una tendencia NE-SO y las fallas inversas medidas, muestran una tendencia N-S y ENE-OSO. El detalle de las medidas de rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento de estas estructuras se encuentra en el ANEXO II

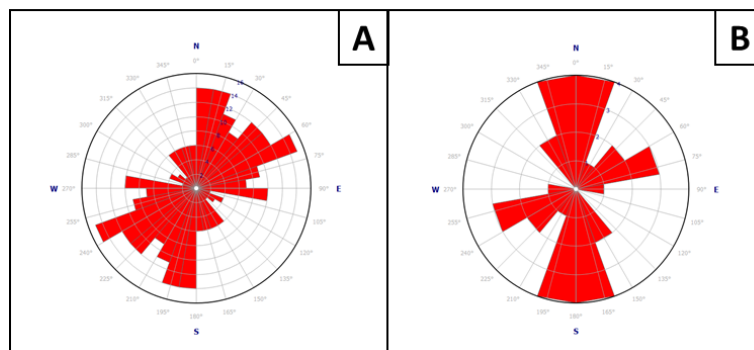
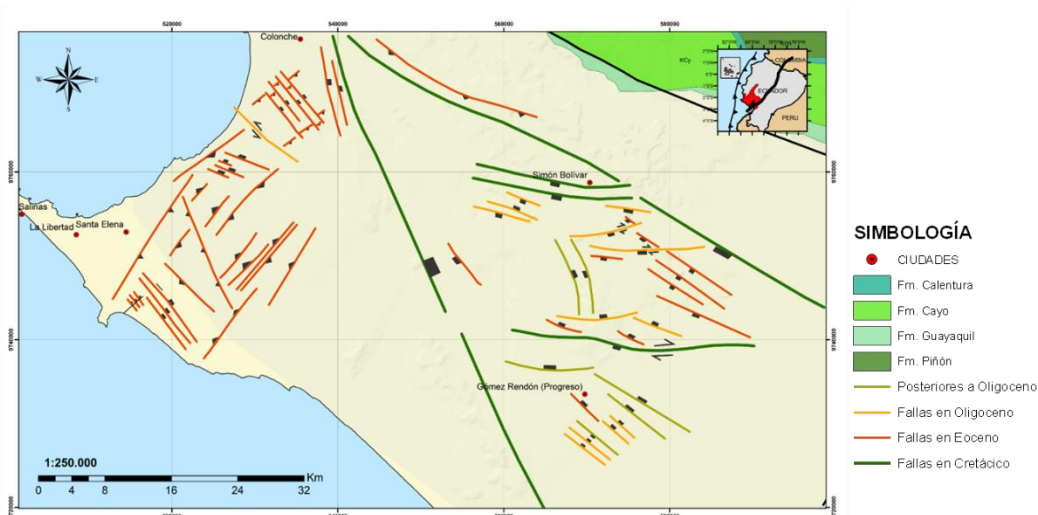


Figura 4.10 Diagramas de rosas para datos medidos en campo del Grupo Ancón.
A. Fallas normales; B. Fallas Inversas

4.3 Inicio de actividad de fallas

El inicio de actividad de las fallas interpretadas se llevó en base a las observaciones sobre los desplazamientos verticales de cada horizonte interpretado, en los perfiles sísmicos usados en este estudio. Siendo aquel horizonte (con respectiva edad) que presente el mayor desplazamiento un indicador de la época en la que inició la actividad de la falla.

En la Figura 4.1, se observan fallas de cizalla con actividad en toda la sección, marcada por la diferencia en los saltos de entre los horizontes interpretados por efecto de la misma. Así mismo, al ser la mayoría de estructuras en el interior de la cuenca de carácter normal, se revisó su inicio de actividad con respecto a su acción sobre los reflectores interpretados,



observando principalmente el desplazamiento que generan, siendo que, el 34% de ellas presenta inicio de actividad durante el Eoceno y Eoceno Medio, 46% en Oligoceno y un 20% posteriores a Oligoceno, mientras que las fallas inversas interpretadas al Oeste de la cuenca, tienen inicio principalmente Eocénico. Esta información se visualiza en el MAPA IV, donde se hace un mapa estructural para el Eoceno y se diferencian por colores las edades de fallas principales.

MAPA IV Mapa de inicio de actividad de las principales fallas interpretadas en sísmica 2D y 3D (Geología tomada de Reyes & Michaud, 2012)

4.4 Análisis de Resultados

Si bien se realizaron diagramas de rosas para las observaciones realizadas en campo, una fuente importante de datos de medidas de falla es también el obtenido a través de las estructuras interpretadas en la sísmica.

Por la dificultad que presenta la interpretación del horizonte Paleoceno en la sísmica es mínima la cantidad de información obtenida en cuanto a medidas básicas estructurales por lo que para esta edad la fuente de datos usada corresponde a los datos en campo revisados.

En lo que respecta al Eoceno, se midieron las estructuras definidas en la sísmica 2D y 3D y estos datos se unificaron con aquellos definidos en campo (Figura 4.10) para generar los diagramas en la Figura 4.11, en donde las fallas normales muestran una dirección predominante ONO-ESE, mientras que las inversas muestran dirección NE-SO, no se grafican las estructuras transcurrentes pues se trata de una visión estadística para la que no se tiene una muestra representativa.

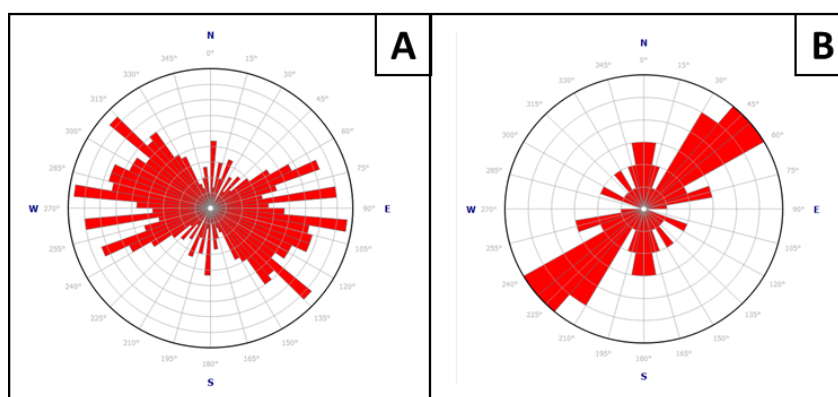


Figura 4.11 Diagramas de rosas para estructuras correspondientes a Eoceno, integración de datos en campo y sísmica

En cuanto al Oligoceno, la única fuente de datos para el análisis de esfuerzos corresponde a las fallas normales interpretadas en el Cubo 1, en donde se observa una tendencia NO-SE y ONO-ESE, como se observa en la Figura 4.12.

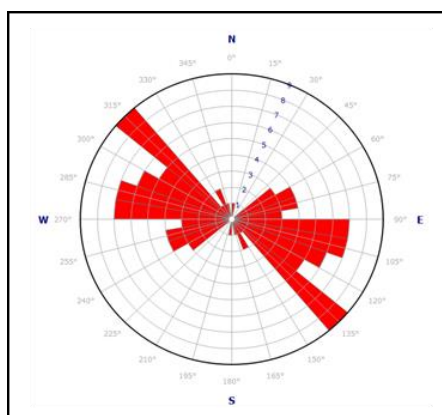


Figura 4.12 Diagrama de rosas para fallas normales interpretadas en el Cubo 1

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

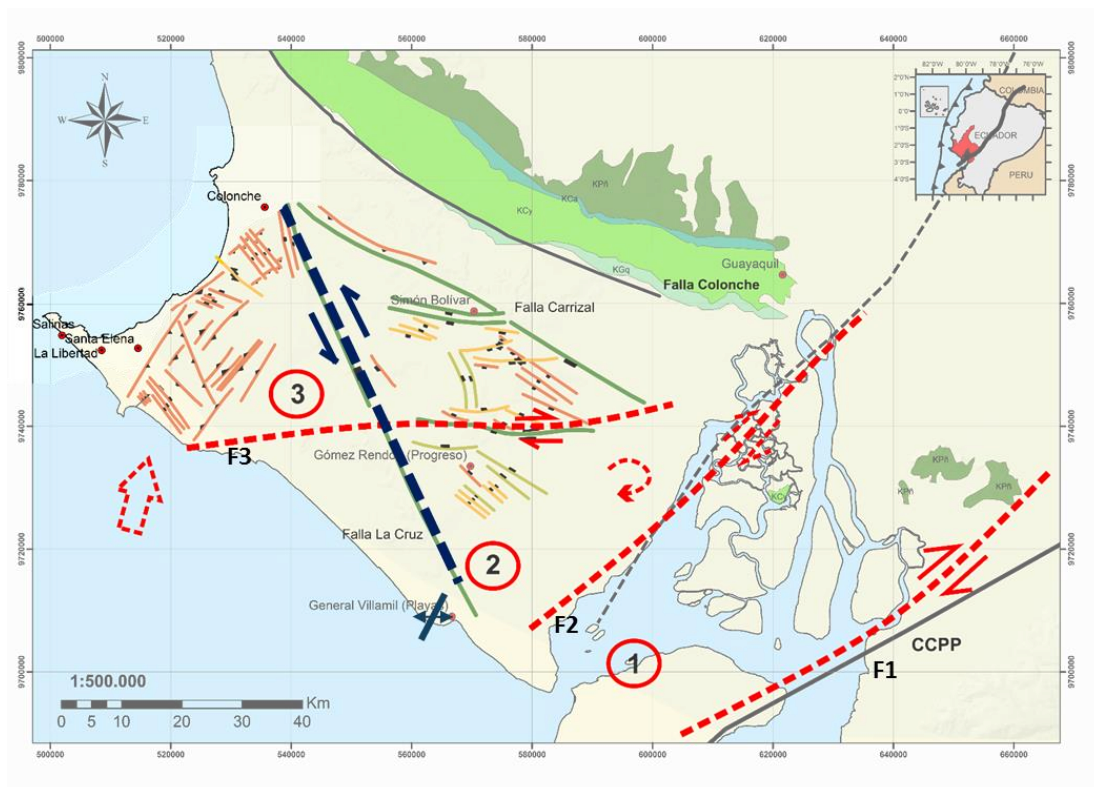
En base a las observaciones puntuales de los resultados obtenidos y utilizando como referencia la clasificación de estilos estructurales definida por Harding & Lowell (1979), se observan estructuras normales que reflejan un estilo extensional en el interior de la cuenca, mientras que al oeste de la misma se ven fallas inversas que podrían indicar un estilo compresivo, siendo todo el sistema controlado por la presencia de fallas de rumbo, definiendo en general, para toda la zona de estudio, un arreglo de tipo “wrench”.

Para darle sentido a este complejo, se deben tomar en cuenta ciertos factores, como se observa en el MAPA V.

- Componente dextral del sistema de fallas regional Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puná (CCPP), previamente conocido como Guayaquil-Dolores (F1).
- La presencia de la Cordillera Chongón-Colonche hacia el Norte de la Cuenca, misma que se encuentra desplazada hacia el SE, en el área

correspondiente a los cerros de Churute, donde se infiere una falla de cizalla (F2).

- Falla de desplazamiento, de tipo dextral (F3) definida por la interpretación sísmico-estructural, que indica además, actividad en toda la sección interpretada, falla que se alarga por la configuración particular de la línea de costa en esa zona coincidiendo además con la presencia de los cerros Chanduy.



MAPA V Mapa de integración de datos (Geología tomada de Reyes, 2012 y Alvarado, 2012)

Donde, estas fallas dextrales (F1, F2 y F3), activas desde el Cretácico, separarían el área de estudio en tres bloques, cuyas direcciones evidenciarían la rotación horaria del sistema, ya propuesta por (Luzieux et al., 2006; Roperch et al., 1987) para el Cretácico Tardío debido al margen de convergencia oblicua al que se ve sometida la costa ecuatoriana (Daly, 1989), sin embargo, este estudio se centra en el Paleógeno, por lo que a continuación se analizan los resultados según las edades de interés.

5.1 Paleoceno

En esta edad se destaca la intervención de la falla F2, que llegaría incluso a intervenir sobre depósitos del Paleoceno correspondientes al Grupo Azúcar, explicando el anticlinal definido en Playas por Moreno (1984) y que se muestra en esta zona en el MAPA V.

5.2 Eoceno

Según la MAPA V , en el Eoceno inician su actividad fallas normales en el interior de la cuenca, e inversas al Oeste de la misma, lo cual se explicaría por una mayor actividad de la componente sinistral de la Falla La Cruz, misma que por su configuración sería antitética a F3, entendiéndose que en un sistema de este tipo (tomando en cuenta el elipsoide de deformación

correspondiente) se generan fallas inversas y normales a lados opuestos de las estructuras principales; esto tomando en cuenta la componente dextral de la zona a causa del margen de convergencia oblicua definido por Daly (1989).

Corroborando esta interpretación la presencia de altos visibles en campo, como los cerros de Chanduy, justamente sobre F3.

5.3 Oligoceno

De acuerdo al inicio de actividad definido en la MAPA V, se puede observar que aquellas fallas que tienen inicio en esta edad, presentan diferente dirección al norte de F3, en el bloque 3 con respecto a aquellas ubicadas en el bloque 2, lo cual se explicaría debido a que, de acuerdo a la interpretación sísmica y como se puede observar en la Figura 4.1, F3, presenta mayor actividad para esta edad que en el período anterior, ya que se muestra mayor desplazamiento de los horizontes proporcionados; esto sumado a la actividad sinistral de la falla La Cruz, generaría una deformación del vector tectónico de extensión que se tiene en la zona.

El vector tectónico de esfuerzos, definido ya para la extensión y apertura de la cuenca es definido NE-SO, sin embargo, al tener la acción de otro

lineamiento, en este caso F3, este vector tendría tendencia a descomponerse, lo que generaría que en el bloque 3 tome sentido NNE-SSO, mientras que en el bloque 2, sería NE-SO.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. En base a integración de datos se definen estilos estructurales localmente tanto de extensión, como de compresión, con un inicio predominante en el Eoceno Medio, controlado por la presencia de fallas de cizalla. Tratándose en conjunto de un arreglo de tipo “wrench”
2. Las direcciones principales de deformación, se definen, para el Paleoceno, preponderante una compresión en sentido NO-SE con una componente de cizalla en la misma dirección; para Eoceno, se define tanto deformación de tipo extensional en sentido NNE-SSO por la apertura de la cuenca, como compresional al O de la misma en sentido NO-SE y para el Oligoceno, extensión NE-SO, con variación NNE hacia el bloque 3.
3. Las variaciones en estilos estructurales durante el Eoceno se ven marcadas a causa de un incremento de actividad de tipo sinistral de la falla de cizalla La Cruz, antitética a F3, donde, por continua actividad, se generan diferentes estilos estructurales en el sistema.

4. En el Oligoceno se define deformación por extensión, sin embargo el vector tectónico de esfuerzos NE-SO se ve afectado por la acción de la Falla F3, misma que incrementa su actividad durante Oligoceno, descomponiendo al vector y generando variación en la dirección de estructuras entre los bloques 2 y 3.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar el análisis e interpretación realizados en este estudio, como una herramienta, para el desarrollo de un modelo de evolución tectónica actualizado y a escala regional o semi-regional de la Cuenca Progreso.
2. Relacionar los resultados obtenidos en este proyecto con un estudio estratigráfico de la zona de estudio, para de esa manera comprender los efectos que la evolución estructural tuvo sobre la depositación de sedimentos.

ANEXOS

ANEXO I Mediciones de campo de fallas del Grupo Azúcar

TIPO DE FALLA	RUMBO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
Normal	290	200	75
Normal	302	212	55
Normal	310	220	59
Normal	312	222	51
Normal	315	225	59
Normal	315	225	37
Normal	315	225	56
Normal	316	226	60
Normal	352	262	85
Normal	232	322	65
Normal	241	331	80
Normal	245	335	75
Normal	245	335	48
Normal	248	338	63
Normal	169	259	97
Normal	65	155	50
Normal	76	166	32
Normal	180	270	83
Normal	10	100	70
Normal	100	10	71
Normal	131	41	64
Normal	150	60	31
Normal	155	65	80
Normal	159	69	85
Normal	167	77	86
Normal	106	16	76
Normal	142	52	35
Inversa	27	117	26
Inversa	237	327	90
Inversa	65	155	90
Inversa	255	345	90

Inversa	128	38	84
Inversa	350	260	63
Dextral	295	205	74
Dextral	298	208	74
Dextral	306	216	54
Dextral	307	217	80
Dextral	311	221	77
Dextral	135	45	90
Dextral	137	47	70
Dextral	137	47	80
Dextral	145	55	70
Dextral	149	59	90
Dextral	330	240	75
Dextral	298	208	70
Dextral	298	208	60
Dextral	135	45	90
Sinistral	293	203	65
Sinistral	318	228	90
Sinistral	348	258	85
Sinistral	195	285	84
Sinistral	23	113	90
Sinistral	110	20	20

ANEXO II Mediciones de datos de campo de fallas del Grupo

Ancón

TIPO DE FALLA	RUMBO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
Normal	180	270	55
Normal	180	270	60
Normal	180	270	60
Normal	270	180	70
Normal	270	180	85
Normal	272	182	75
Normal	275	185	32

Normal	275	185	48
Normal	275	185	60
Normal	275	185	56
Normal	275	185	45
Normal	270	180	60
Normal	290	200	80
Normal	290	200	30
Normal	295	205	50
Normal	295	205	47
Normal	300	210	50
Normal	320	230	40
Normal	330	240	50
Normal	350	260	45
Normal	284	194	67
Normal	304	214	55
Normal	310	220	35
Normal	310	220	48
Normal	320	230	32
Normal	320	230	30
Normal	320	230	40
Normal	320	230	50
Normal	330	240	75
Normal	330	240	50
Normal	332	242	56
Normal	340	250	75
Normal	340	250	45
Normal	345	255	65
Normal	345	255	70
Normal	345	255	60
Normal	350	260	80
Normal	352	262	70
Normal	355	265	54
Normal	183	273	70
Normal	185	275	38
Normal	185	275	87
Normal	190	280	65
Normal	195	285	76
Normal	195	285	61
Normal	200	290	60
Normal	200	290	60
Normal	200	290	60

Normal	200	290	46
Normal	202	292	40
Normal	210	300	48
Normal	210	300	60
Normal	210	300	39
Normal	210	300	45
Normal	217	307	47
Normal	218	308	28
Normal	220	310	55
Normal	220	310	60
Normal	220	310	60
Normal	225	315	50
Normal	225	315	62
Normal	233	323	32
Normal	235	325	55
Normal	238	328	44
Normal	240	330	65
Normal	240	330	25
Normal	240	330	35
Normal	240	330	70
Normal	240	330	50
Normal	245	335	45
Normal	245	335	45
Normal	250	340	57
Normal	251	341	87
Normal	255	345	31
Normal	258	348	70
Normal	260	350	75
Normal	260	350	60
Normal	260	350	62
Normal	260	350	60
Normal	261	351	50
Normal	262	352	66
Normal	180	270	80
Normal	215	305	55
Normal	255	345	55
Normal	90	180	55
Normal	2	92	62
Normal	3	93	70
Normal	3	93	89
Normal	5	95	75

Normal	5	95	35
Normal	10	100	54
Normal	10	100	54
Normal	10	100	57
Normal	10	100	76
Normal	10	100	50
Normal	14	104	71
Normal	14	104	35
Normal	15	105	77
Normal	15	105	45
Normal	16	106	81
Normal	18	108	34
Normal	20	110	35
Normal	20	110	82
Normal	20	110	35
Normal	30	120	50
Normal	40	130	50
Normal	40	130	60
Normal	40	130	80
Normal	44	134	55
Normal	45	135	50
Normal	49	139	58
Normal	50	140	59
Normal	50	140	48
Normal	50	140	35
Normal	53	143	42
Normal	56	146	17
Normal	58	148	59
Normal	58	148	54
Normal	58	148	49
Normal	60	150	35
Normal	60	150	55
Normal	60	150	52
Normal	60	150	17
Normal	65	155	65
Normal	66	156	45
Normal	67	157	65
Normal	68	158	47
Normal	70	160	60
Normal	70	160	65
Normal	70	160	10

Normal	74	164	30
Normal	85	175	55
Normal	20	110	50
Normal	20	110	50
Normal	25	115	27
Normal	30	120	55
Normal	40	130	76
Normal	50	140	40
Normal	120	30	68
Normal	100	10	56
Normal	140	50	12
Normal	150	60	65
Normal	158	68	70
Normal	164	74	28
Normal	174	84	32
Normal	175	85	50
Normal	180	90	32
Normal	180	90	50
Inversa	8	98	48
Inversa	15	105	50
Inversa	39	129	54
Inversa	50	140	54
Inversa	56	146	36
Inversa	240	330	45
Inversa	255	345	60
Inversa	76	166	86
Inversa	260	350	50
Inversa	320	230	44
Inversa	360	270	60
Inversa	5	95	78
Inversa	330	240	65
Inversa	345	255	40
Inversa	345	255	34
Inversa	170	80	60
Inversa	350	260	50

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, R., Aleman, A., Ordoñez, M., & Montenegro, G. (2005). Evolución Tectonoestratigráfica y Sistema Petrolífero de la Cuenca Progreso en Ecuador y Perú, 1–12.
2. Alvarado, A. (2012). *Neotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur*. Université de Grenoble.
3. Baldock, J. W. (1982). *Geología del Ecuador*. División de Investigación Geológico-Minera.
4. Benitez, S. (1995). Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur - Tertiaire. *Géology Alpine*, 71, 3–163. <http://doi.org/1995\r95 gre1 0071>
5. Bristow, C. R., & Hoffstetter, R. (1977). *Lexique Stratigraphique International: Ecuador (Second Edi, p. 412)*. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique.
6. Collot, J. Y., Michaud, F., Alvarado, A., Marcaillou, B., Ratzov, G., Migeon, S., ... Pazmino, A. (2009). Visión general de la morfología submarina del margen convergente de Ecuador-Sur de Colombia: implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la Cordillera de Carnegie. *Geología Y Geofísica Marina Y Terrestre Del Ecuador*, 47–74.

7. Daly, M. C. (1989). Correlations between Nazca/Farallon Plate Kinematics and Forearc Basin Evolution in Ecuador. *Tectonics*, 8(4), 769–790.
8. Deniaud, Y. (2000). *Enregistrements Sedimentaire et Structural de l'évolution Geodynamique des Andes Equatoriennes au Cours du Neogene: Etude des Bassins d'avant-arc et Bilans de Masse*. Université Joseph Fourier - Grenoble I.
9. Fossen, H. (2010). *Structural Geology*. New York: Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1029/2011EO200009>
10. Gonza, T. (2015). *Interpretación Estratigráfica y Estructural del Área de Transvaal y Navarra, mediante Registros Eléctricos y Sísmica 3D, Península de Santa Elena*. Escuela Politécnica Nacional.
11. Harding, T. P., & Lowell, J. D. (1979). Structural styles. Their plate-tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63(7), 1016–1058. <http://doi.org/10.1306/2F9184B4-16CE-11D7-8645000102C1865D>
12. 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.
13. Jaillard, É., Ordoñez, M., Benitez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G., & Zambrano, I. (1995). Basin Development in an

Accretionary, Oceanic-Floored Fore-Arc Setting: Southern Coastal Ecuador During Late Cretaceous-Late Eocene Time. *AAPG Memoir*, 62(Petroleum Basins of South America), 615–631.

14. 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. <http://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.07.008>
15. Marchant, S., & Black, C. (1960). The Nature of Clay Pebble Beds and Associated Rocks of Southwest Ecuador. *Journal of the Geological Society of London*, 113, 317–331.
16. Moreno, M. (1983). *Estratigrafía detallada del Grupo Azúcar en los Acantilados de Playas*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
17. Núñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
18. Ordóñez, M., Jiménez, N., & Suárez, J. (2006). *Micropaleontología ecuatoriana. datos bioestratigráficos y paleoecológicos de las cuencas: Graben de Jambelí, Progreso, Manabí, Esmeraldas y Oriente; del levantamiento de la península de Santa Elena, y de las cordilleras Chongón Colonche, costera y Occide*. Quito: Petroproducción y Centro de Investigaciones Geológicas de Guayaquil.
19. Reyes, P., & Michaud, F. (2012). Mapa Geológico de la Margen Costera

Ecuatoriana.

20. Roperch, P., Mégard, F., Laj, C., & Mourier, T. (1987). Rotated Oceanic Blocks in Western Ecuador. *Geophysical Research Letter*, 14(5), 558–561.
21. Shepperd, G., & Moberly, R. (1981). Coastal structure of the continental margin, northwest Peru and southwest Ecuador. *Geological Society of America Memoirs*, 154, 351–391.
22. Spikings, R. A., Winkler, W., Seward, D., & Handler, R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 186, 57–73. [http://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00225-4](http://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00225-4)
23. Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T., & Mora, H. P. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2), 157–171. [http://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00018-4](http://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00018-4)
24. Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R. a, Luzieux, L., Heller, F., & Bussy, F. (2009). Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador. *Geological Society of America Memoirs*, 204(0), 197–216. [http://doi.org/10.1130/2009.1204\(09\)](http://doi.org/10.1130/2009.1204(09))
25. Zumba, N. (2005). *Interpretación Geológica-Sísmica 2D en el Área de*

San Vicente-Morillo del Bloque ESPOL. Escuela Superior Politécnica del Litoral.