

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“Interpretación Geológica-Sísmica 2D en el Área de
San Vicente-Morrillo del Bloque ESPOL”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA

Presentada por:

Nancy Victoria Zumba Piña

GUAYAQUIL–ECUADOR

Año: 2005

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que hicieron posible el desarrollo y culminación de este trabajo:

Al decano de la FICT, Ing. Ricardo Gallegos; al director de Proyecto Ancón, Ing. Luis Albán, por haber gestionado mi ingreso a la compañía PACIFPETROL. Al personal técnico de esta compañía de manera muy especial al Ing. Javier Albuja quien me asesoró en el área de Geofísica.

Al Dr. Stalin Benitez, director de tesis, su valioso conocimiento geológico de la Península de Santa Elena me sirvió como guía en el desarrollo de este trabajo.

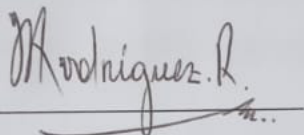
A mis amigos y compañeros: Mónica Peñafiel, Honorio Morán, Jaime Vaca, Luis Cobos que estuvieron a lo largo de mi carrera universitaria. A Washington Sevilla, Efrén Chuya, Marielena Gallegos y Sandra Gonzáles quienes hicieron amena mi estadía en el campo petrolero Ancón.

DEDICATORIA


A Jesucristo, amigo que ilumina mi camino.

A mis padres María y Héctor; a mis
hermanas Gloria y Nelly, la familia ejemplar.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



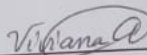
Ing. Julio Rodríguez R.
SUBDECANO DE LA FICT
PRESIDENTE



Dr. Stalin Benítez Acosta
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Enrique Luna A.
VOCAL

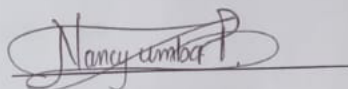


Ing. Viviana Álvarez
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, reading "Nancy Victoria Zumba Piña", written over a horizontal line.

Nancy Victoria Zumba Piña

RESUMEN

Este informe presenta los resultados de la interpretación realizada en el área San Vicente-Morrillo en líneas sísmicas levantadas por la compañía PACIFPETROL S.A., operadora del Bloque ESPOL. En primer lugar se realizó la recopilación de la información geológica del Bloque 1 (campo Pacoa) para después interpretar las secuencias autóctonas del Terciario (Punta Ancón, Seca, Socorro, Clay Pebble Beds) y del Cretáceo y además se identificaron en la parte oriental del área las napas Wildfysch Santa Elena y Azúcar? que se presentan como bloques alóctonos sobrecorridos sobre la formación Socorro.

En la segunda parte se realizaron mapas estructurales en tiempo y en profundidad de los topes de la Fm. Socorro, nivel C (reservorio más importante de la Fm. Socorro) y tope de la Fm. Santa Elena/"Rosario" con el fin de determinar las áreas de potencial hidrocarburífero.

ÍNDICE GENERAL

	PÁG.
RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL	II
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
CAPÍTULO 1	
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Localización del Bloque ESPOL y Bloque 1	4
1.3.1 Campos petroleros del Bloque ESPOL	6
1.4 Generalidades del área de estudio	9
1.4.1 Vías de acceso	9
1.4.2 Clima y Meteorología	9
1.4.3 Vegetación	10
1.4.4 Geografía Económica	10

CAPITULO 2

2	PRESENTACIÓN GEOLÓGICA DEL BLOQUE ESPOL Y CAMPO	
	PACOA (BLOQUE 1)	11
2.1	Geología Regional	11
2.1.1	Marco Estructural	14
2.1.2	Marco Estratigráfico	16
2.2.	Geología Local (Cuenca Pacoa-área San Vicente-Morrillo)	28
2.2.1	Geología de la Cuenca Pacoa (Bloque 1)	28
2.2.1.1	Límites de la cuenca Pacoa	29
2.2.1.2	Estratigrafía del subsuelo en el campo Pacoa	31
2.2.2	Estratigrafía del área San Vicente-Morrillo	37
2.2.3	Prospectos petroleros del campo Pacoa	41
2.2.4	Correlación entre el campo Ancón y el campo Pacoa	43

CAPITULO 3

3	TRABAJOS PREVIOS	48
3.1	Trabajos realizados en el Bloque ESPOL	48
3.1.1	Estudios Geofísicos	49
3.1.2	Perforaciones	54
3.2	Trabajos realizados en el Bloque 1	55
3.2.1	Estudios Geofísicos	56
3.2.2	Perforaciones	58

CAPITULO 4

4	SÍSMICA DE REFLEXIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO	61
4.1	Adquisición de Datos Sísmicos: Programa 2003	61
4.1.1	Topografía	62
4.1.2	Perforación de puntos de tiro	63
4.1.3	Registro de Datos	65
4.2	Parámetros de Campo	71
4.3	Procesamiento de datos sísmicos	78

CAPÍTULO 5

5	INTERPRETACIÓN SÍSMICA	84
5.1	Etapas Preliminares	85
5.1.1	Recopilación de Información existente	85
5.1.2	Incorporación de los topes formacionales en tiempo a las líneas sísmicas del área de estudio	85
5.2	Interpretación	90
5.2.1	Picado de las facies sísmicas y definición de fallas	90
5.2.2	Breve descripción de la evolución sedimentaria de las secuencias	99
5.2.3	Mapas estructurales en tiempo del tope de las formaciones: Socorro, Santa Elena/"Rosario" y Nivel C (Fm. Socorro)	106

5.2.4 Mapas estructurales en profundidad del tope de las formaciones: Socorro, Santa Elena/"Rosario" y Nivel C (Fm. Socorro)	109
--	-----

5.3 Interpretación de acuerdo al modelo estructural de Pacoa propuesto por Canada Grande	118
--	-----

CAPITULO 6

6 MODELO GEOLÓGICO DEL ÁREA SAN VICENTE-MORRILLO	128
6.1 Relación de topografía y afloramientos	129
6.2 Descripción estructural del área San Vicente-Morrillo	129
6.3 Subsistencia del Eoceno Medio (Grupo Ancón)	133
6.4 Formación de la Estructura Pacoa-San Vicente	135

CAPITULO 7

7 POSIBILIDADES HIDROCARBURÍFERAS	140
7.1 Geoquímica del área de estudio	140
7.2 Trampas Hidrocarburíferas	142
7.3 Reservas Potenciales	143
7.3.1 Cálculo de Reservas del Nivel C (Fm. Socorro) y de la Fm. Santa Elena/"Rosario"	144
7.4 Factibilidad de la Explotación	150

CAPITULO 8

8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	151
8.1	Conclusiones	151
8.2	Recomendaciones	154

ANEXOS

ANEXO A Mapa Base de Líneas Sísmicas

ANEXO B Líneas Sísmicas pares

ANEXO B-1: Línea PACIF2003-140

ANEXO B-2: Línea CGC98-12

ANEXO B-3: Línea PACIF2003-114

ANEXO B-4: Línea PACIF2003-148/CGC98-16

ANEXO B-5: Línea CGC98-20

ANEXO C Líneas Sísmica impares

ANEXO C-1: Línea CGC98-01

ANEXO C-2: Línea PACIF2003-129

ANEXO C-3: Línea PACIF2003-103

ANEXO C-4: Línea PACIF2003-131

ANEXO C-5: Línea CGC98-05

ANEXO C-6: Línea PACIF2003-133

ANEXO D Mapa Estructural en Tiempo del Tope de la Fm. Socorro

ANEXO E Mapa Estructural en Tiempo del Tope de la Fm. Santa Elena/
"Rosario"

ANEXO F Mapa Estructural en Tiempo del Nivel C (Fm. Socorro)

ANEXO G Mapa Estructural en Profundidad del Tope de la Fm. Socorro

ANEXO H Mapa Estructural en Profundidad del Tope de la Fm. Santa
Elena/"Rosario"

ANEXO I Mapa Estructural en Profundidad del Nivel C (Fm. Socorro)

ANEXO J Superposición de topografía y afloramientos del área San Vicente-
Morrillo

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAG.
I	Parámetros de registros sísmicos en el Bloque ESPOL	53
II	Parámetros de registros sísmicos en el Bloque 1	58
III	Distancias mínimas para la ubicación de explosivos	65
IV	Materiales del equipo de campo	65
V	Líneas de los Programas Sísmicos 1998 y 2003	70
VI	Pozos escogidos para la interpretación	88
VII	Topes de niveles productores de los pozos	89
VIII	Intervalo de las formaciones de los pozos exploratorios	94
IX	Producción acumulada de petróleo del campo Pacoa	126
X	Cálculo de volumen neto de roca del Nivel C	146
XI	Reservas en sitio y reservas recuperables del Nivel C	148
XII	Cálculo de volumen neto de roca de la Fm. Santa Elena/ "Rosario"	148
XIII	Reservas en sitio y reservas recuperables de la formación Santa Elena/"Rosario"	149

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. N°	PAG.
1.1 Ubicación del Bloque ESPOL	2
1.2 Localización del Bloque ESPOL, Bloque 1 y área de estudio	5
1.3 Campos petroleros del Bloque ESPOL y ubicación del campo Pacoa	7
1.4 Líneas sísmicas de los años 1998 y 2003	8
2.1 Colisión de un arco Volcánico cretácico	12
2.2 Fosa submarina frente a la costa ecuatoriana	13
2.3 Mapa Estratigráfico del Bloque ESPOL	17
2.4 Columna estratigráfica del bloque ESPOL	19
2.5 Límites de la cuenca Pacoa	30
2.6 Columna estratigráfica de la cuenca Pacoa	32
2.7 Mapa de afloramientos en el área de San Vicente-Morrillo	38
2.8 El Grupo Azúcar como napa en el área San Vicente-Morrillo	45
2.9 Napa del grupo Azúcar en el área de estudio y en el campo Pacoa	46
2.10 Posible límite de la depositación del Grupo Azúcar	47
3.1 Mapa Gravimétrico	50
3.2 Estado de pozos a Diciembre de 1998	55
3.3 Pozos perforados en el Bloque 1	60
4.1 Perforación con compresores de aire y tuberías	63
4.2 Perforación con espirales	64

4.3	Cajas telemétricas MRX	66
4.4	Ristras de tierra de 6 geófonos tipo GS 30CT	66
4.5	Herramienta de detonación Sho Pro	67
4.6	Caja MRX y Batería	68
4.7	Explosivo con fulminante eléctrico	72
4.8	Esquema de Adquisición de datos sísmicos	74
4.9	Geófonos agrupados	77
4.10	Recuperación de amplitudes y deconvolución de una traza sísmica	81
4.11	Apilado bruto de la línea PACIF2003-148	83
5.1	Pozos cercanos al área de estudio	86
5.2	Traslado de la información del campo Pacoa al área de estudio	87
5.3	Columna litológica del Pozo Centinela	91
5.4	Intersección de las líneas PACIF2003-103 y CGC98-12	93
5.5	Línea sísmica GS-12, interpretada por Canada Grande	97
5.6	Línea sísmica B90-26, interpretada por Canada Grande	98
5.7	Paleo plataforma/talud formado por el tope de la Fm. Santa Elena/"Rosario"	100
5.8	Facies sísmicas de margen de plataforma/talud progradante	102
5.9	El anticlinal del tope Socorro sobre la paleo plataforma/talud	106
5.10	Fallas A, B y C vistas en la línea PACIF2003-148	112
5.11	Fallas de desplazamiento de rumbo	113
5.12	Vista en 3D del tope de la formación Socorro	114

5.13	Vista en 3D del tope de la formación Santa Elena/"Rosario"	116
5.14	Modelo Estructural del campo Pacoa	120
5.15	Resultado del traslado de la sección superior y Nivel C	122
5.16	Sección superior de la Fm. Socorro en líneas sísmicas impares	123
5.17	Prospecto hidrocarburífero para el Nivel C (Fm. Socorro)	125
5.18	Prospecto hidrocarburífero de la formación Santa Elena/"Rosario"	127
6.1	Cambios en la dirección de convergencia de las Placas Nazca y Sudamericana.	131
6.2	Cupla regional originada por la convergencia entre las Placas	132
6.3	Modelo estructural de una cupla de cizalla	133
6.4	Cuenca San Vicente-Morillo limitada al sur por el levantamiento de rocas del Cretáceo-Paleoceno	134
6.5	Columna litológica del Pozo América	136
6.6	Dirección de sobrecorrimientos de las Napa del Wildflysch Santa Elena y Azúcar	138
6.7	Modelo combinado de sobrecorrimiento y deslizamiento gravitacional en un margen continental	139
7.1	Composición del petróleo (Pacoa 1)	141
7.2	Distribución logarítmica de los valores de porosidad del nivel C del pozo Pacoa 10	147
7.3	Distribución logarítmica de los valores de porosidad de la formación Santa Elena/"Rosario".	149

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las manifestaciones superficiales de los manaderos de gas y petróleo en la península de Santa Elena (sector de La Libertad, Baños de San Vicente) a principios de siglo XX despertaron el interés de empresas británicas, tal es así que en el año 1911 se perfora el pozo ANCÓN No.1 en el campo petrolero de Ancón, el mismo que inicia la industria productiva de hidrocarburos en el Ecuador.

A partir de entonces las distintas concesiones de la península han pasado por varios operadores extranjeros y nacionales; la compañía británica Anglo-Ecuadorian Oilfields Ltda. (AEO) fue el operador más importante del Campo Ancón llegando a producir, entre 1955 y 1957, 10.000 barriles de petróleo por día, período en el que se perforaron la mayoría de los 2900 pozos petroleros del Campo Ancón. En 1976,

cuando finalizó la operación de Anglo, la producción de Ancón se ubicó en 2300 barriles por día; desde entonces, comenzó a operar la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE), dedicándose al mantenimiento y producción del campo sin perforar nuevos pozos exploratorios.

En 1996, el Estado cedió la concesión de un área en la mencionada península conteniendo al Campo Ancón a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) denominándose Bloque ESPOL (Fig. 1.1). La producción de Ancón estaba en ese entonces en 780 barriles de petróleo por día.

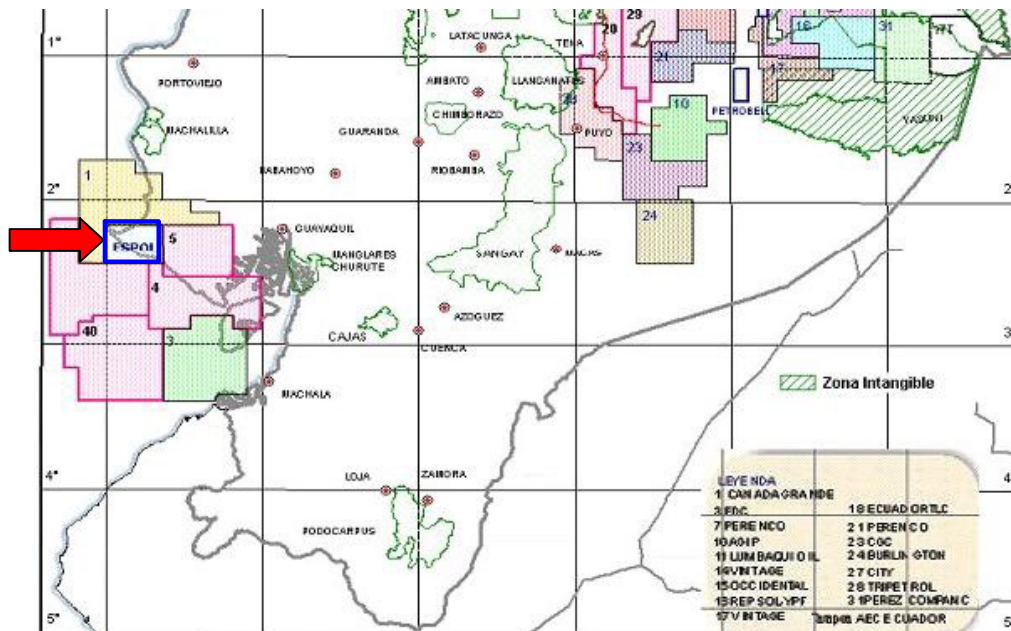


Figura 1.1.- Ubicación del Bloque ESPOL (PETROECUADOR, 2002)

Actualmente PACIFPETROL S.A. opera el bloque ESPOL mediante contrato de servicios a la ESPOL, con una producción aproximada de 1700 barriles de petróleo por día (año 2003). Esta compañía, luego de realizar la interpretación de la información de la campaña sísmica 2D de 1998, definió dos zonas a ser investigadas más a detalle. Estas dos zonas constituyen el área Transvaal-Navarra y el área San Vicente-Morrillo. En el año 2003, con el fin de incorporar información adicional a los resultados de la última campaña sísmica, se realizaron trabajos de sísmica 3D en el área Transvaal-Navarra y sísmica 2D en el área San Vicente-Morrillo.

La autora participó en la ejecución de esta campaña en calidad de pasante durante las etapas de adquisición de datos de campo y de interpretación mediante la utilización del software Geographix de Landmark. Con la necesidad de incorporar el aspecto geológico a la interpretación resultante se realizó el presente trabajo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El presente estudio se realiza con el propósito de definir zonas de interés exploratorio y de investigar el potencial hidrocarburífero existente en la zona noreste del Bloque ESPOL correspondiente al área San Vicente-Morrillo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir el sistema estructural que controla la región.
- Integrar los estudios existentes en el área, tanto geológicos como geofísicos y así definir la posible continuidad de la estructura Pacoa del Bloque 1 hacia el Bloque ESPOL.
- Definir áreas prospectivas para la ubicación de pozos exploratorios.

1.3 Localización del Bloque ESPOL y Bloque 1

La mayoría de los bloques de explotación de hidrocarburos del Ecuador se encuentran en la región amazónica (Ver Fig.1.1). Sin embargo en la costa del Pacífico existen dos bloques en explotación: Bloque ESPOL y Bloque 1. (Fig. 1.2)

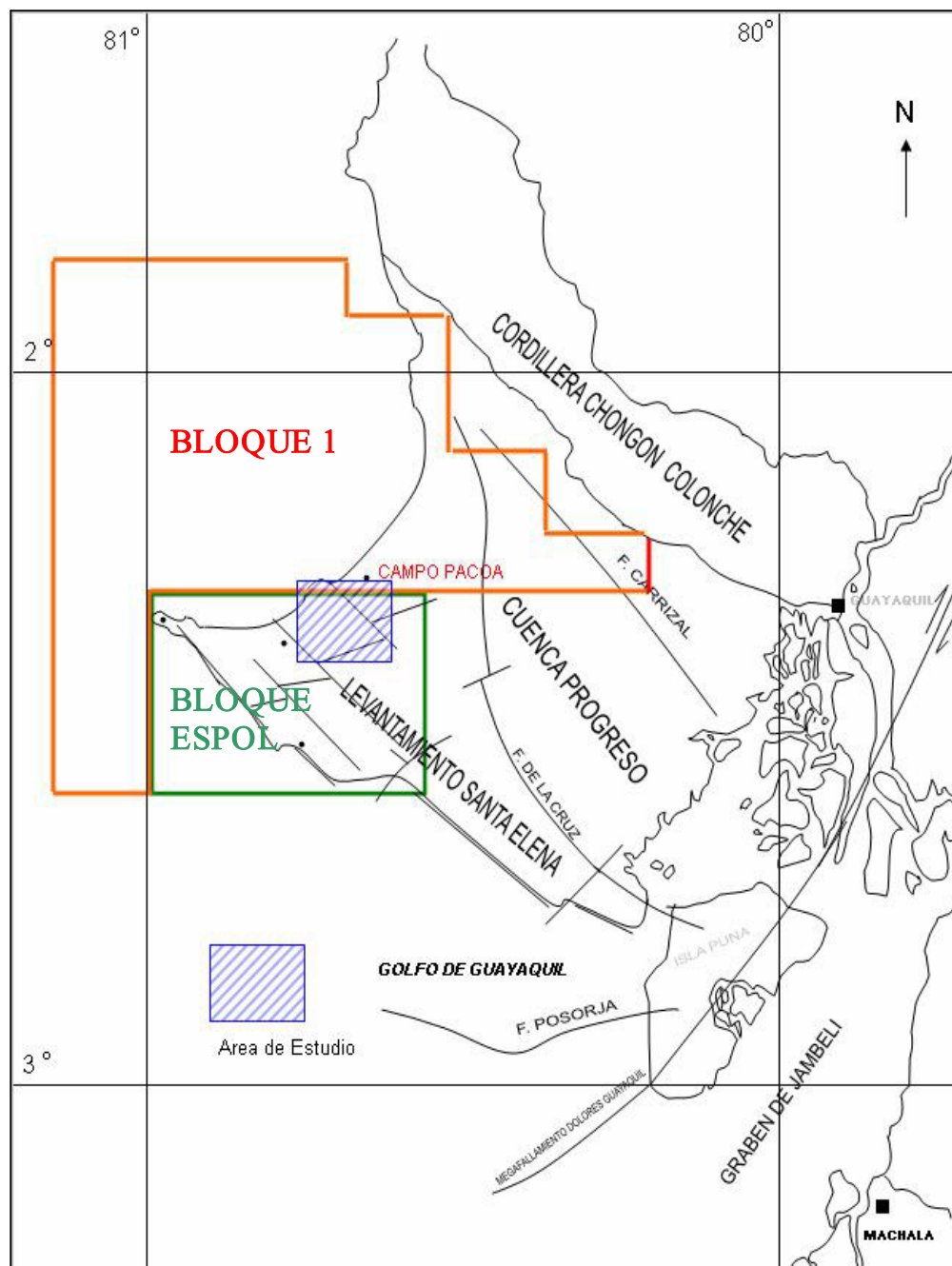


Figura 1.2.- Localización del Bloque ESPOL, Bloque 1 y área de estudio

El Bloque ESPOL está ubicado en la península de Santa Elena, a 120 Km al Oeste de la ciudad de Guayaquil. Tiene una extensión de 1200 Km², de los cuales 480 Km² se encuentran costa afuera.

El Bloque 1 está localizado al Norte y Oeste del Bloque ESPOL; tiene una extensión de 4.000 Km², de los cuales 3.000 Km² están costa afuera y 1.000 Km² en tierra.

1.3.1 Campos petroleros del Bloque ESPOL

El campo principal corresponde a Ancón, como se puede distinguir en la Figura 1.3. Produce yacimientos de edad Terciaria, habiendo acumulado hasta 1999, 110 MM bls de petróleo (95% de la producción acumulada total de la península); el 5% restante (6 MM bls de petróleo) proviene de un conjunto de pequeños cuerpos mineralizados que constituyen yacimientos de edad cretácica (Santa Paula, Achallán, Petrópolis, Carolina, San Raymundo, Cautivo). El área de San Vicente-Morrillo no había sido estudiada hasta ese entonces, constituyéndose en un nuevo campo de prospección petrolera.

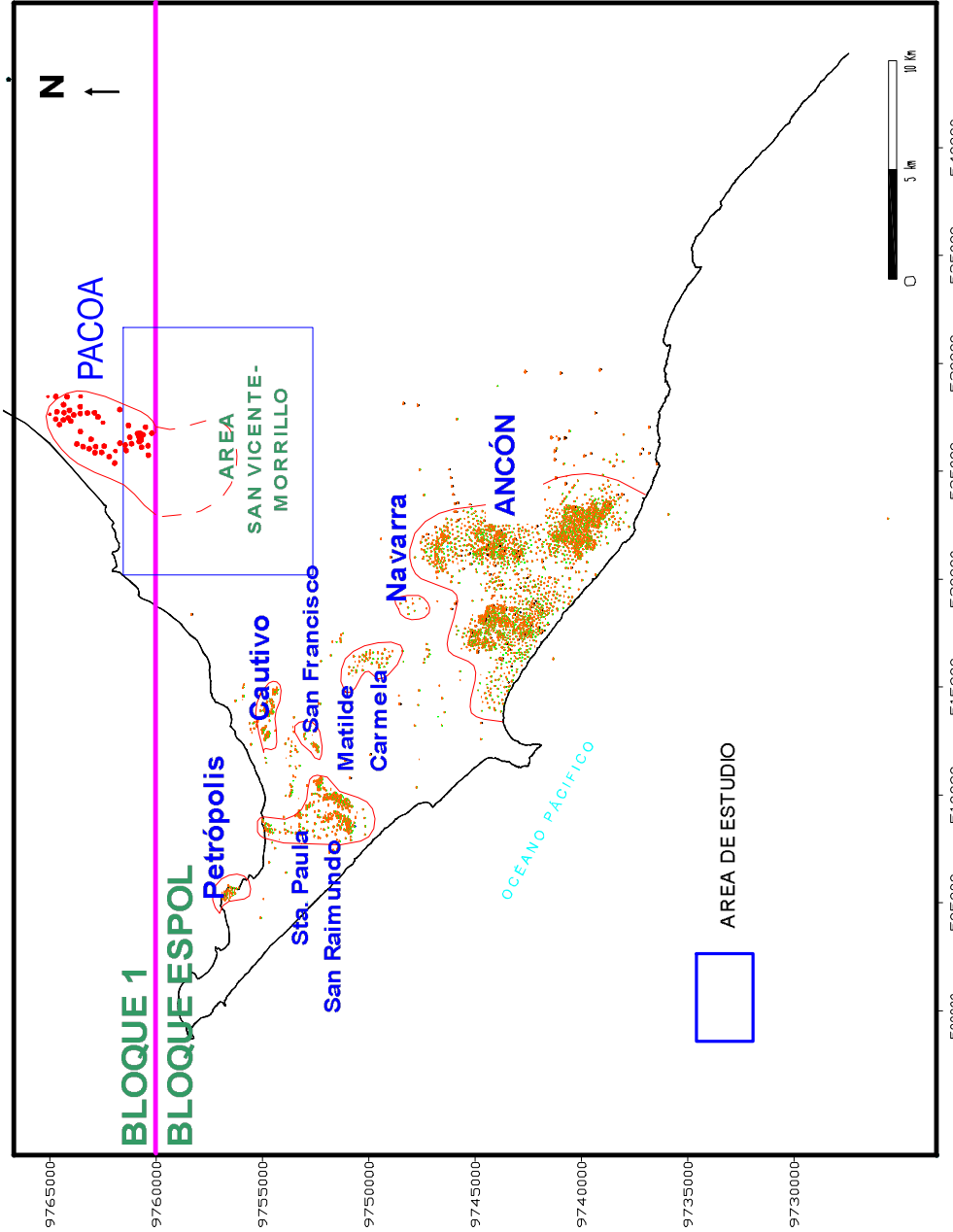


Figura 1.3.- Campos petroleros del Bloque ESPOL y ubicación del campo Pacoa (CGC, 1999)

El área de estudio (ver Fig. 1.3) se encuentra ubicada en el Nor-Noreste del Bloque ESPOL, contigua al campo Pacoa operado por Canada Grande-TRIPETROL (Bloque 1) y cubre una superficie aproximada de 100 Km², limitada por las siguientes coordenadas U.T.M.:

- 1) 519422N, 9761337E
- 2) 533074N, 9761337E
- 3) 533074N, 9751510E
- 4) 519422N, 9751510E

Para el estudio del área de San Vicente fue necesario extenderse unos 800 m dentro del Bloque 1, con la finalidad de concatenar información sísmica del campo Pacoa al área de estudio (Fig. 1.4).

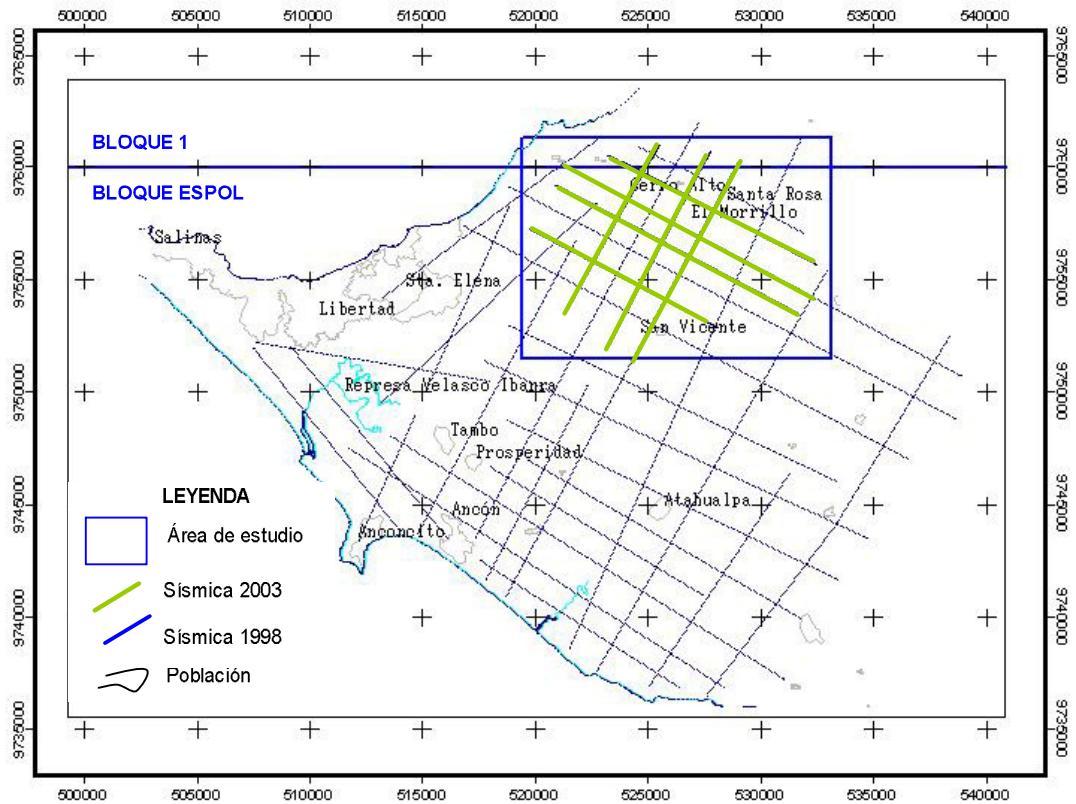


Figura 1.4.- Líneas sísmicas de los años 1998 y 2003.
1.4 Generalidades del área de estudio

1.4.1 Vías de Acceso

La principal vía de acceso es la carretera Guayaquil – Salinas por el lado Sur a la cual se unen otras vías de primer orden que comunican a las poblaciones de Baños de San Vicente, San Vicente, Punta Blanca y San Pablo. Existen otras vías de segundo orden que comunican las poblaciones de Cerro Alto, El Morrillo y Santa Rosa del Morrillo.

1.4.2 Clima y Meteorología

La península de Santa Elena presenta una estación cálida y lluviosa entre los meses de Enero y Abril y una estación fría y seca entre Mayo y Diciembre (KOMEX, 1997). La primera se debe a la zona de convergencia intertropical y a la influencia de la corriente cálida del Golfo de Panamá (“Corriente de El Niño”). Koppen clasifica al clima como seco, semiárido, de tipo estepa. De acuerdo a la clasificación bioclimática de Cañadas (1983), el área está definida como una región desértica tropical. Las precipitaciones anuales no alcanzan los 200 mm. Una variación ligera pero apreciable se presenta en las localidades de Morrillo y Cerro Alto, pues según datos presentados por el PRONAREG

(Programa Nacional de Regionalización) en 1978 se indica una precipitación total anual inferior a 300 mm, es decir el clima ahí es un poco más húmedo.

1.4.3 Vegetación

La continua explotación de la vegetación por pastoreo de chivos y extracción de madera a ser utilizada como leña, ha alterado notablemente la zona y junto a las características climáticas antes mencionadas han determinado que no haya definitivamente ecosistemas primarios; el único hábitat natural que se puede mencionar es el considerado matorral secundario.

1.4.4 Geografía Económica

El área de estudio se caracteriza por encontrarse en una zona donde la población se dedica a trabajos de ebanistería, explotación de canteras y cría de animales como chivos, cerdos y aves para el consumo humano y para el comercio.

CAPITULO 2

PRESENTACIÓN GEOLÓGICA DEL BLOQUE ESPOL Y CAMPO PACOA (BLOQUE 1)

2.1 Geología Regional

La presencia de grandes anomalías gravimétricas positivas (Feininger, 1977) indica que no existe litósfera continental bajo la Costa Ecuatoriana sino mas bien una litósfera oceánica que fue acrecionada por alguna forma de colisión, por efecto de una antigua zona de subducción frente a la costa ecuatoriana (Fig. 2.1).

La geología del Ecuador y del nor-occidente de Sudamérica está marcada por la entrada en subducción de la placa Nazca (al Oeste), bajo la placa Sudamericana (al Este) siguiendo una dirección N80. Según Lonsdale (1978), la subducción se inició desde hace 2 a 3 millones de años trayendo como consecuencia la somerización de la fosa, talud y

plataforma y el levantamiento general de la región de antearco; los depósitos que allí se acumulan pueden ser consumidos durante la subducción o ser acrecionados a la placa Sudamericana (G. Hinojosa, P. Malone y F. Fantin, 1993).

Cretáceo Tardío

Península
Santa Elena

Cuenca Talara

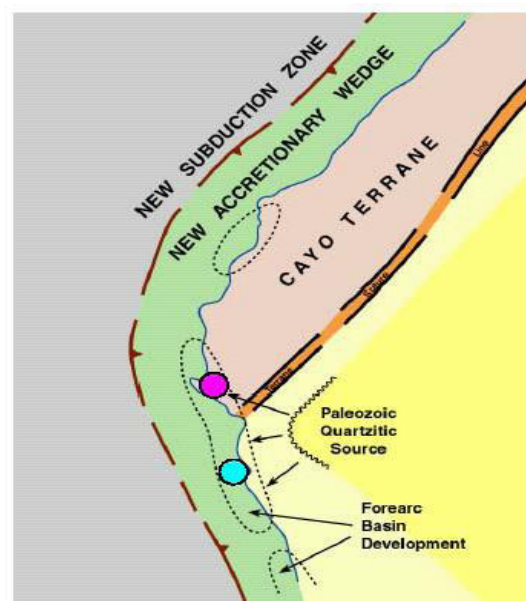
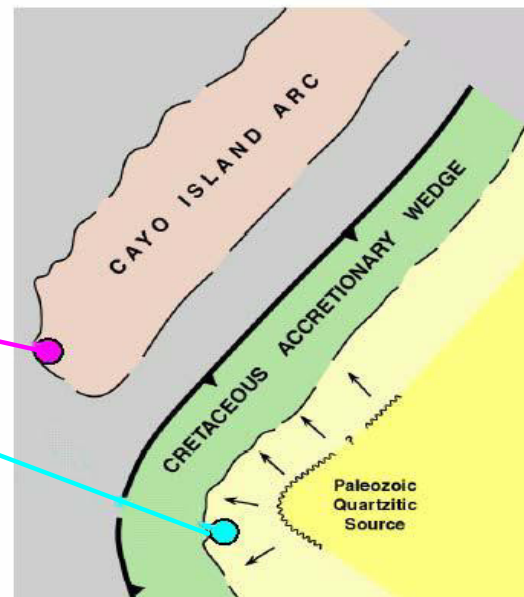


Figura 2.1.- Colisión de un arco volcánico cretácico a lo largo de una zona de subducción (Petroecuador, 2002).
En la línea sísmica SIS-16 (Fig. 2.2) tomada de la tesis de Alcinoe Calahorrano (2005), se presenta una fosa desprovista de cobertura sedimentaria (hecho ya manifestado por Lonsdale, 1978), debido a fenómenos de erosión tectónica o no deposición por falta de aportes continentales.

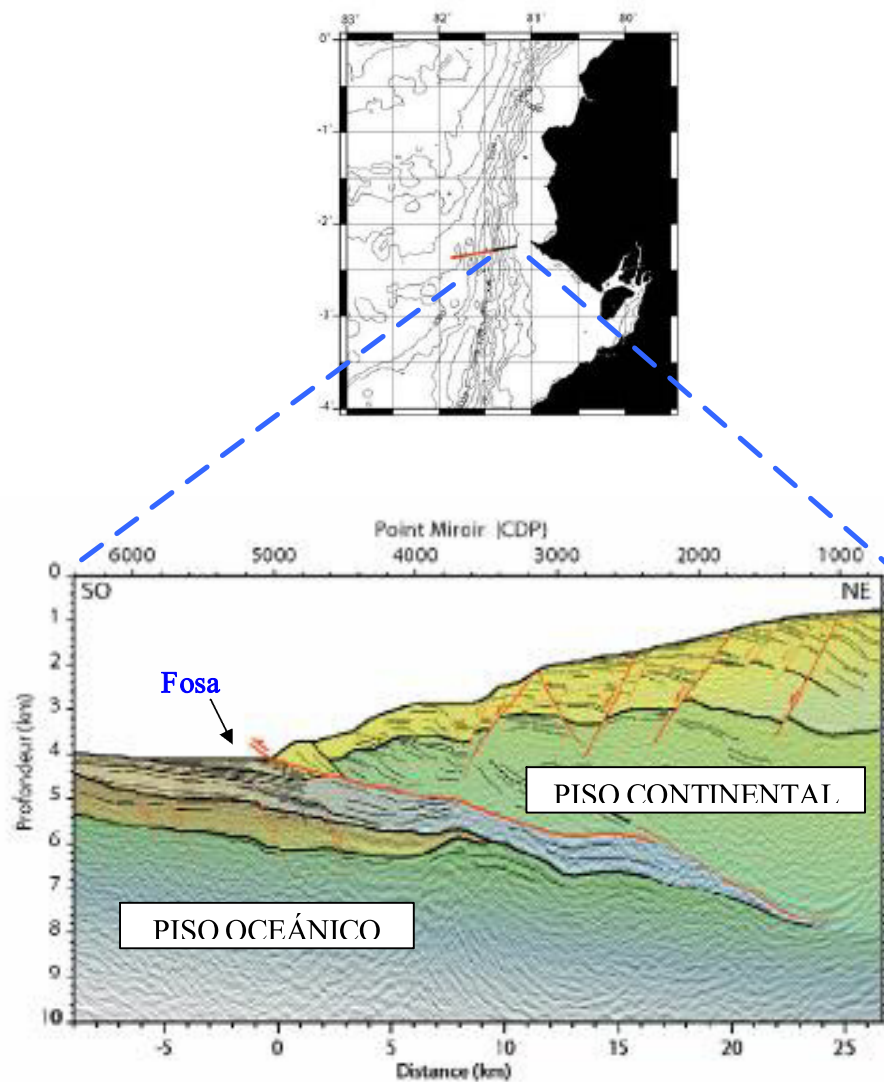


Figura 2.2.- Fosa submarina, frente a la costa ecuatoriana (Calahorrano, 2005).

2.1.1 Marco Estructural

En la zona suroeste de la Costa Ecuatoriana, la subducción ha generado esfuerzos compresivos con el consecuente desarrollo de fallas de desplazamiento de rumbo que pueden jugar, según cada caso, en transtensión dando origen a subsidencia y depositación de grandes paquetes de sedimentos, o en transpresión provocando la formación de altos estructurales que se convierten en límites entre las cuencas de antearco internas (Benitez, 1995).

Dentro de la Península de Santa Elena, sobre la base de sus características estratigráficas y estructurales, se reconocen tres unidades morfotectónicas (Ver Fig. 1.2), que son:

1. Cordillera Chongón-Colonche.
2. Levantamiento de Santa Elena.
3. Cuenca Progreso.

Dos sistemas de fallas predominan: NE-SO y NO-SE, siendo la Falla de Guayaquil la más relevante por haber sido postulada como un nuevo límite de la placa (Case et al., 1971; Campbell 1974). La Falla Colonche de dirección NO-SE que limita por el Sur a la Cordillera Chongón Colonche, presenta movimientos dextrales como lo hace la Falla de Guayaquil, y junto con fallas sinistralas como la Falla de La Cruz han jugado un papel importante en la evolución de las Cuencas de Antearco.

El levantamiento de Santa Elena, donde se encuentra el área de estudio, constituiría la parte emergida del prisma acrecionario, mientras que el sector costa afuera participa del mismo ambiente tectónico pero se encuentra en una posición más externa y está sometido a una mayor deformación (Benitez, 1995). El Levantamiento Santa Elena se encuentra limitado al Norte por la falla La Cruz de dirección general NO-SE y al Sur por la Falla Posorja de dirección NO-SE ubicada costa afuera en el Golfo de Guayaquil.

La tercera unidad morfotectónica, la Cuenca Progreso, es la zona deprimida del antearco ubicada entre el Levantamiento Santa Elena y la Cordillera Chongón Colonche. Esta cuenca mantiene

similitud y continuidad de su relleno sedimentario neógeno con otras pequeñas cuencas del Golfo de Guayaquil (Jambelí, Esperanza, Túmbez) (Benítez, 1995).

En todas las unidades se registra un cambio de la dirección de compresión desde aproximadamente N-S en el Paleoceno, hasta E-O en el Neógeno. La nueva dirección de compresión es la causa de los movimientos dextrales de fallas subparalelas al sistema de subducción, tales como la Falla de Guayaquil que al antearco en su parte Sur en dirección NE y luego corre paralela a la Cordillera Occidental (Benítez, 1995).

2.1.2 Marco Estratigráfico

El mapa geológico del Bloque ESPOL (Fig. 2.3), tiene como base geológica los trabajos de Manabí Exploration Co. (1954), Marchant (1961), Hojas Geológicas Santa Elena MV-Q 3487 y MV-C Chanduy 3486; y ha sido modificado por el argentino Eduardo A. Rosello (1997-1998). Los afloramientos dentro de la Península de Santa Elena comprenden las siguientes unidades:

- La Fm. Santa Elena (Campaniano Superior-Paleoceno).
- El grupo Azúcar (Paleoceno).

- El grupo Ancón (Eoceno).

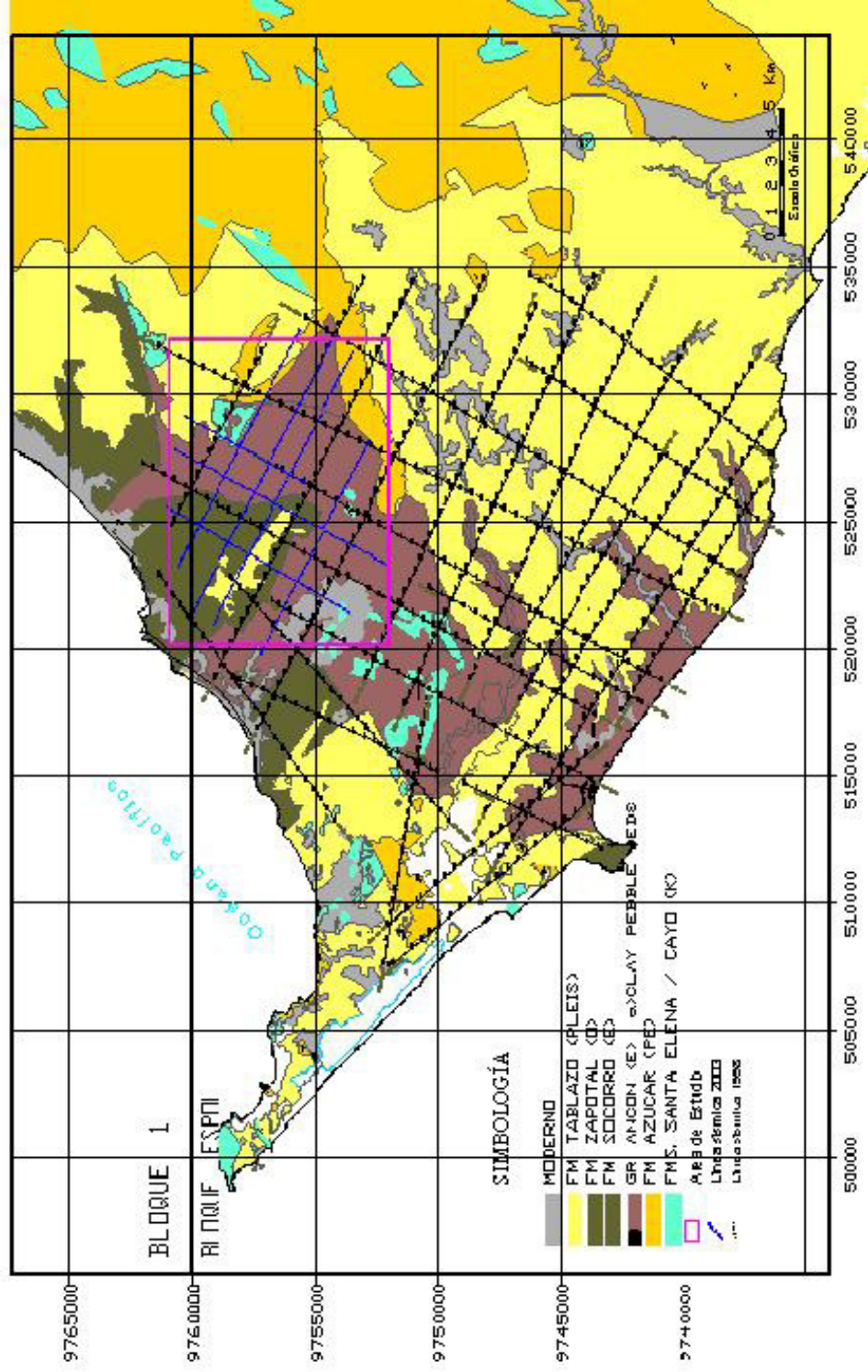


Figura 2.3.- Mapa Estratigráfico del Bloque ESPOL, recopilado por CGC (Rosello E, 1997)

El origen de las rocas sedimentarias del Levantamiento de Santa Elena ha tenido diferentes puntos de vista con respecto a su depositación, así:

Azad (1968) definió su teoría “Complejo Olistostrómico” como una gigantesca masa de por lo menos 3 Km de potencia que se deslizó en el Eoceno Superior, y comprendería todas las rocas de la Península de Santa Elena.

Según Baldock (1982), el emplazamiento de sedimentos se produjo como resultado de un desplome submarino ocurrido en aguas profundas dentro de la Cuenca Progreso en el Eoceno Superior; la matriz de los sedimentos incluye bloques de rocas consolidadas del Cretáceo, Paleoceno y Eoceno Medio.

Otra interpretación geológica es el llamado Modelo de talud que refiere a la Península como un paleo-talud con su propia dinámica y sus sedimentaciones contemporáneas, produciendo contactos estratigráficos y tectónicos tales como: traslapes, imbricación, acuñamientos, discordancias, etc. entre las diferentes unidades litológicas (Benítez, 1995).

La columna estratigráfica del Bloque ESPOL se presenta en la Fig. 2.4 y comprende unidades que van desde el Cretáceo hasta el Pleistoceno y son las siguientes:

BLOQUE SANTA ELENA - MARCO ESTRATIGRAFICO														
Periodo	Epoca	Edad	Unidades	Esp. (m)	Lithologia	Ambiente Deposicional								
Cuaternario	Pleistoceno		TABLAZO Fm.	30	Areniscas Calcareas	Marino Somero								
TERCIARIO	PALEOGENO	Eoceno	ANCON Gr	Fm PUNTA ANCON	150	Areniscas Gruesas	Marino Somero							
				Fm SECA	500	Lutitas, limolitas y margas	Plataforma intermedia a marino somero							
				Fm SOCORRO	460	Turbiditas finas y arcillas	Facies de talud a plataforma externa							
				Fm CPB Santo Tomas	0-650	Arcillas conglomeraticas Diamictitas	Depósitos de remoción en masa en ambiente de talud ("Slumps")							
				Fm PASSAGE BEDS		Turbiditas Finas	Abanicos turbidíticos - relleno de cuencas de talud							
		Paleoceno	Tardío	Thanetiano	Fm AZUCAR / Fm ATLANTA	Engabao Fs	1500 2000	Areniscas turbidíticas gruesas Conglomerados y lutitas oscuras	Complejo de abanicos turbidíticos depositados en ambiente marino profundo (Basin Floor Fans) Turbiditas de alta densidad con participación minoritaria de flujos de baja densidad					
						Chanduy Fs								
						Estancia Fs								
				Daniano										
CRETACICO	SENONIANO	Tardío	Fm SANTA ELENA				500	Arcillas pelágicas silisificadas, turbiditas cherts intrusivos doleríticos	Sedimentación pelágica coetanea con vulcanismo activo Turbiditas de baja densidad					
			Fm CAYO				2000	Tobas, lutitas oscuras turbiditas con aporte piroclásticos	Secuencia granocreciente de turbiditas de alta a baja densidad con intercalaciones de lutitas pelágicas					
			Fm PIÑON				?	Basaltos, doleritas intrusivos ultramaficos	Fondo Oceánico					
		Temprano	Albiano											

Figura 2.4.- Columna estratigráfica del Bloque ESPOL (Rosello E, 1997).

Complejo Ígneo Basáltico Piñón (Aptiano Superior-Albiano).- No aflora en toda la Península. Esta formación, considerada como el basamento de las provincias costeras del Ecuador, está constituida por basaltos, diabasas, piroxenitas y aglomerados piroclásticos aparentemente sin estratificación; las estructuras almohadilladas (pillow lavas) y columnares son frecuentes. Su localidad tipo se encuentra en la Cordillera Chongón Colonche. Su espesor total no ha podido determinarse y su edad ha sido estimada como Aptiano Superior-Albiano.

Formación Cayo (Santoniano-Campaniano).- No aflora en toda la Península. Se presenta en contacto discordante con la Formación Piñón, consiste de una espesa secuencia volcánica y volcano-sedimentaria cuya localidad tipo se encuentra en Puerto Cayo al Oeste de Jipijapa, con aproximadamente 2000 m de potencia. Está constituida por sedimentos marinos (lutitas bituminosas y turbiditas finas), y volcanoclásticos (tobas) e intercalaciones de lavas almohadilladas. Se le atribuye una edad Cretácico Superior.

Formación Santa Elena (Maestrichtiano-Paleoceno Inferior).- Se correlaciona con la Formación Guayaquil de la Cordillera Chongón Colonche. Está constituida por depósitos de aguas profundas

como lutitas silíceas (con nódulos de chert), turbiditas tobáceas y limolitas arenosas finas. Según Sheppard (1937) la mayor parte de la formación es el “Chert” blanco o gris opaco de origen sedimentario.

Esta unidad ha sido conocida antiguamente como Chert Santa Elena (Sinclair y Berkey, 1923) o también como Chert de Carolina o Chert Santa Paula (Sutton, 1954), formación Santa Elena (Marchant, 1956), Wildflysch Santa Elena, Olistostromo Wildflysch (Azad, 1964; Colman, 1970) y constituye un reservorio fisurado.

Su principal característica es el alto grado de deformación y su carácter a veces claramente discontinuo formando escamas tectónicas intercaladas con rocas de otras formaciones. Su espesor es desconocido y según información de subsuelo, el techo está cubierto discordantemente por el Grupo Azúcar o por el Grupo Ancón. Los afloramientos de esta unidad están en la playa de La Libertad-Salinas, en la Puntilla de la Península de Santa Elena y en Punta Carnero. En el área de estudio se encuentran en diversos sectores del flanco oriental del Cerro Asagmones.

Grupo Azúcar (Paleoceno-Eoceno Inferior).- La formación Azúcar constituye el principal reservorio del campo Ancón, en perforaciones del campo petrolero Ancón. Se reconoce un equivalente denominado Formación Atlanta, constituida por una arenisca gris dura con textura media a gruesa que representa el principal reservorio por sus fracturas.

Tradicionalmente el Grupo Azúcar era dividido en tres formaciones en base a la presencia de una facies conglomerática que separa a dos facies areno-arcillosas: a) Facie La Estancia; b) Facie Chanduy y c) Facie Engabao. Sin embargo, los contactos entre ellas son transicionales e incluso las litologías son indiferenciables cuando las facies conglomeráticas están ausentes (Canfield, 1996; Bristow y Hoffstetter, 1977). Esta situación hace que Benítez (1995) recomiende el reemplazo de la nomenclatura de formaciones por la de facies sedimentológicas dentro de una misma Formación, que puede continuar llamándose Azúcar.

Moreno (1983) y Benítez (1995) redefinieron estas facies como depósitos submarinos profundos de origen turbidítico correspondientes a facies superiores y medias de abanicos submarinos, con dirección de paleocorrientes hacia el N. La

composición de las arenas y conglomerados indica un origen vinculado con el zócalo continental.

En el subsuelo de Ancón, en el pozo San Gabriel-1 se han perforado 2255 m de arenas, espesor que se considera exagerado debido a repeticiones estructurales y a la alta inclinación de los estratos. El valor más confiable es 644 m, espesor medido en los afloramientos de Playas (Moreno, 1983).

La formación Azúcar aflora en las colinas de La Estancia, Chanduy, Azúcar y Saya, aunque los mejores afloramientos se encuentren en los acantilados del Oeste del balneario de Playas. Esta formación no se ha encontrado en el Campo Pacoa (Bloque 1) que corresponde al área de estudio, San Vicente-Morrillo.

Grupo Ancón (Eoceno).- El Grupo Ancón en el campo petrolero de Ancón comprende rocas silicoclásticas de edad Eoceno Medio. Comprende las formaciones siguientes, a partir de la más antigua: a) Clay Pebble Beds (CPB), subdividida a su vez en los niveles Passage Beds (PB) y Arenisca Santo Tomás, b) Socorro, c) Seca y d) Punta Ancón.

a) Formación Clay Pebbles Beds (Eoceno Inferior?).- El techo de esta unidad aflora en los acantilados de Ancón, con un espesor total de 180 m en el subsuelo. Se trata de una secuencia diamictítica maciza de matriz arcillosa, con rodados y bloques de superficie pulida, angulosos, cuya composición es de cuarcitas negras, areniscas y calcáreos, originados por el deslizamiento sin-sedimentario del tipo de flujos de lodo densos submarinos e interestratificados con turbiditas (Marchant y Black, 1960).

a.1) Formación Passage Beds (capas de transición).- Esta unidad se conoce solamente en el subsuelo de Ancón y fue definida por Marchant (1956) como la transición entre el Grupo Azúcar y el Grupo Ancón. También parte de estos niveles fueron identificados como “Atlanta Shales”. Son pelitas duras con estratos delgadas de areniscas, que incluyen intercalaciones de areniscas calcáreas de grano medio a grueso y arcillolitas con restos carbonosos. Esta secuencia sobreyace en discordancia angular sobre el Grupo Azúcar/Atlanta, sobrelapándola, con una potencia variable entre 0 y 500 m. Los mayores espesores se dan en los ejes sinclinales, disminuyendo hacia los altos estructurales del Grupo Azúcar. La dependencia entre espesor y posición estructural hace sospechar en una depositación coetánea con la deformación y la erosión de

las rocas subyacentes (Benítez, 1995). Se le asigna una edad Eoceno Inferior a Medio.

a.2) Arenisca Santo Tomás.- La arenisca Santo Tomás consiste de un banco de areniscas de potencias modestas conocida solamente en el subsuelo en el sector del mismo nombre, en el extremo NE del campo petrolero Ancón. Constituye la culminación del ciclo turbidítico de la Fm. Passage Beds.

b) Formación Socorro (Eoceno Medio temprano).- Constituye el reservorio de segunda importancia en el campo Ancón, donde aflora en sus acantilados, recubren la Fm CPB e infrayacen las pelitas de la Fm Seca. El espesor medido en la localidad tipo de Ancón es de 390 m (Marchant, 1956). Inicialmente algunos autores la consideraron producto del deslizamiento vinculado con el “Complejo Olistostrómico”, denominándola en consecuencia, “Socorro slice”. Sin embargo, corresponde a la transición de abanicos turbidíticos–talud, con depósitos de lóbulos y canales de plataforma Benítez (1995). Son una alternancia de lutitas deleznales grises a negras y de areniscas turbidíticas delgadas verdosas. Comprende una arenisca basal con conglomerados erosivos y areniscas canalizados, le siguen niveles arcillo-limosos

masivos con intercalaciones de areniscas turbidíticas centi a decimétricas con ondulitas indicativas de turbiditas distales. Hacia el tope se presentan areniscas limosas con tendencia de grano creciente.

c) Formación Seca (Eoceno Medio). - Se dispone en discordancia sobre la anterior y constituye la roca sello de los reservorios de la Fm. Socorro en el Campo Ancón, está constituida por arcillolitas gris verdosas con raras intercalaciones de areniscas finas que hacia el techo toman un color amarillento rojizo. Corresponden a depósitos marinos de plataforma que se intercalan con las facies de abanicos submarinos. El espesor estimado por Small (1962) es de 524 m y 500 m por Montenegro y Loor (1988).

d) Formación Punta Ancón (Eoceno Medio a Superior). - Son areniscas grises con base erosiva con alternancias de pelitas grises, niveles finos de color castaño e incluyen la famosa Arenisca Blanca de Punta Ancón. Aflora en los acantilados de Anconcito y a lo largo de toda la pequeña Península de Punta Ancón donde se midió un espesor de 160 m de sección, que corresponden a depósitos marinos localizados entre la plataforma externa y la parte superior del talud continental (Benítez, 1995).

Formación Tablazo (Pleistoceno).- Son niveles dispuestos en terrazas marinos. Las rocas de esta formación son de matriz arenosa con restos de fósiles (conchas) de diversos tamaños con cemento calcáreo. Se encuentra descansando en fuerte discordancia erosiva (y angular) sobre cualquier formación anterior. Son escasamente potentes (hasta algunas decenas de metros: promedio 30 m) y se disponen horizontalmente.

2.2 Geología Local (Cuenca Pacoa-área San Vicente-Morrillo)

En el mapa gravimétrico (Ver Fig. 3.1) la cuenca Pacoa ingresa al área San Vicente-Morrillo. Así, al describir la geología del Campo Pacoa, se describirá parcialmente la geología del área San Vicente-Morrillo, pues dada la escasez de información en el área de estudio, se utilizarán entonces los informes del Campo Pacoa, realizados en base a la interpretación de pozos perforados.

2.2.1 Geología de la Cuenca Pacoa (Bloque 1)

El Bloque 1 (Ver Fig. 1.2) geográficamente está localizada al sur de la falla Colonche que separa la cordillera Chongón Colonche del Levantamiento Santa Elena/Cuenca Progreso. Dentro del Bloque 1 se definen dos campos de mayor y menor productividad, el campo Pacoa y el Área de Monteverde, respectivamente; ambas ubicadas en la parte Sur-central del Bloque 1.

El campo Pacoa, con una extensión de 15 Km², fue el nuevo campo petrolero descubierto en 1990 por BELCO y luego operado por TRIPETROL. Este campo dispone de mejor información bioestratigráfica que el campo Ancón, por los estudios de LABOGEO (Petroproducción Guayaquil) para TRIPETROL

(trabajos inéditos) en los primeros cinco pozos perforados en el área.

2.2.1.1 Límites de la cuenca Pacoa (Fig. 2.5)

El área subsidente está limitada hacia el SE por un sobrecorrimiento de rocas de la formación Azúcar (=Atlanta) sobre las rocas del Grupo Ancón, este límite tiene una dirección NE-SO y pasa a pocos kilómetros al NO del alineamiento entre el sitio Aguadita y el pozo América.

El límite sur está representado por un levantamiento de rocas bien consolidadas de edad Cretáceo-Paleoceno en una mezcla tectónica compleja con sedimentos suaves del Eoceno medio y coincide aproximadamente con la carretera Santa Elena-Ballenita.

El límite norte se lo ha ubicado en un complejo tectónico localizado en las inmediaciones del pozo Aragón-3 en el cual se perforó el mayor espesor de la formación Seca, 518 m (1700 pies).

Pocos kilómetros al Norte de este límite cerca de Ayangué, se encuentran afloramientos de rocas oligocenas (formación Playa Rica) y miocenas (formación Dos Bocas) sugiriendo la existencia de una cuenca de historia geológica más joven (Benítez, 1995).

2.2.1.2 Estratigrafía del subsuelo en el campo Pacoa

De acuerdo al informe de Canada Grande (1999), la cuenca Pacoa comprende la siguiente columna estratigráfica (Fig. 2.6):

- 1) El basamento oceánico, Piñón.
- 2) Cobertura volcánico-clástica de edad Cretácico Superior-Paleoceno: formación Cayo, formación Santa Elena/"Rosario".
- 3) Depósitos turbidíticos del Grupo Ancón: CPB, Socorro, Seca y Punta Ancón.

El Grupo Azúcar no aflora en este campo y tampoco aparece en el subsuelo.

Período/Época	Edad	Unidades	Esp (m)	Esp (pies)	Litología	
Cuaternario Pleist.		Fm. Tablazo	30	100	Arenisca calcárea	
Discordancia						
T E R C I A R I O	P A L E O G E N O	S				
		Bartoniano	Punta Ancón	143	490	Arenisca tobácea de grano grueso
		Bartoniano	Fm. Seca	503	1650	Laminaciones de lutita, limolita.
		Lutetiano	Fm. Socorro	451	1480	Arenisca tobácea laminada con lutitas, limolitas.
			Fm. Clay Pebble Beds (CPB)	0-500	0-1640	Lutita gris verdosa y limolita tobácea gris
	I	D I S C O R D A N C I A				
		Ypresiano				
		Tanetiano	Fm. Rosario ?			Conglomerados, aglomerados volcánicos, tobas arcillosas y rara vez arenisca tobácea.
		Daniano	Santa Elena (Miembro superior)	259	850	Sílice pelágico, arcillolita y limolita calcárea. Toba y a veces arenisca turbidítica.
			Santa Elena (Miembro inferior)	500	1640	Arcillolita pelágica, chert negro y toba.
M E S O Z O I C O	C R E T Á C E O	Maestrichtia				
		S				
		Campaniano	Fm. Cayo	2000	6560	Turbiditas volcánica de grano grueso, tobas y limolita negra.
		Santoniano				
		Coniaciano				
		Turoniano				
Cenomania	Fm. Piñón	?	?	Piso oceánico		
I					Albiano	

Figura 2.6.- Columna Estratigráfica de la cuenca Pacoa (Canada Grande, 1999).

Formación Piñón (Aptiano Superior - Albiano).- La descripción de la formación Piñón se detalló anteriormente en el marco estratigráfico de la geología regional. No aflora en el campo y no fué alcanzado en ninguna perforación.

Formación Cayo (Santoniano-Campaniano).- Descrita anteriormente. No aflora, pero fue encontrada en los pozos Aragón-2 y Aragón-3, como rocas basálticas a una profundidad 1390.5 m (4561 pies) y 480 m (1573 pies) respectivamente. Su composición volcano-clástica y su cementación disminuye su potencial como prospecto petrolero. Sin embargo, el Miembro Calentura cerca de la base de esta formación es suficientemente rica en materia orgánica bituminosa para ser considerada roca madre.

Formación Santa Elena (Maestrichtiano-Paleoceno Inferior).- Esta es una monótona secuencia de litologías finas como lutitas silíceas duras gris verduzco, tobas silíceas gris verduzco, chert y raras areniscas con cemento calcáreo. Los valores muy bajos de los registros de rayos gama (10° API), los valores muy altos de los registros de

inducción eléctrica y los bajos valores de los registros de velocidad sónica (DT), son consecuencia del alto grado de compactación y cementación que impiden generalmente la presencia de hidrocarburos. El intervalo superior de esta formación en los pozos San Pablo y Pacoa-1 ha sido fechado Paleoceno, mientras el intervalo inferior ha sido asignado al Maestrichtiano-Campaniano en los pozos Aragón-2, Palo Santo y Guayacán (la ubicación de los pozos exploratorios se encuentra en la sección 3.2.2).

“Formación El Rosario” (Paleoceno Superior-Eoceno Inferior?).- “La formación El Rosario” usualmente se la define como una serie de niveles conglomeráticos, aglomerados volcánicos, tobas arcillosas y areniscas tobáceas de color gris verdoso. Sin embargo, por su posición estratigráfica se podría pensar en un equivalente de la formación Santa Elena. El dilema respecto a la “formación El Rosario” de que si es o no la formación Santa Elena se resuelve en el informe de Canada Grande (1999) que concluye que la “formación El Rosario” es “como una brecha” de diferenciación del tope de la formación Santa Elena por los siguientes rasgos:

- La presencia común de niveles calcáreos cementados, reportados como calizas en algunos pozos especialmente bajo la discordancia. Este rasgo es normalmente la indicación de paleo-suelos submarinos endurecidos (“hardground surfaces”).
- La presencia de varios colores como café, rojo, verde, negro, etc, afectando los fragmentos de roca brechada es una indicación de una posible meteorización subaérea o submarina.
- La irregularidad de los valores del registro eléctrico indicando el decrecimiento de porosidad, el decrecimiento de velocidad sónica (DT), etc, son relacionados a las respuestas de los registros típicos de Santa Elena.
- El proceso de brechamiento, causado por meteorización, que ha producido la llamada “formación El Rosario”, ha afectado por lo menos a dos niveles estratigráficos ya que ésta, es litológicamente similar con el Miembro Superior Santa Elena del Paleoceno, en el pozo La Mata Chivato y es muy similar con el Miembro Inferior Santa Elena en el pozo Palo Santo, donde se encontró microfósiles del Cretáceo. Por consiguiente, los dos niveles de la

“formación El Rosario”, constituyen atractivos intervalos para la exploración de petróleo.

Formación Clay Pebble Beds (Eoceno Medio Inferior).- Se encuentra entre la Formación Rosario y la Formación Socorro, como una secuencia interestratificada de lutitas gris verdosas y limolitas gris tobáceas, caracterizadas en el campo Ancón por clastos de arcillas guijarrosas (abanico medio interno). El espesor varía de 0 a 500 m (1640 pies).

Formación Socorro (Eoceno Medio medio).- Se encuentra entre la formación CPB y la formación Seca. La formación Socorro en la zona de estudio es litológicamente algo distinta a la misma formación identificada en los campos petroleros de Ancón. La descripción litológica de esta formación en el campo Pacoa se presenta como una secuencia interestratificada de areniscas tobáceas turbidíticas y arcillolitas (abanico medio, secuencia marina batial turbidítica). El espesor es 451 m (1480 pies).

Formación Seca (Eoceno Medio superior).- Constituye la roca sello de los niveles arenosos de la formación Socorro. Se encuentra constituida por arcillolitas

grises a gris verdosas, firmes y blocosas, hacia el tope son más abundantes las limolitas y hacia la base se presentan tobas y muy pocas areniscas gris claro, blanquecinas, finas a muy finas con matriz arcillosa (abanico distal de una secuencia marina nerítica externa). El espesor es 503 m (1650 pies). En el campo Pacoa, esta formación está ausente en la mayoría de los pozos, ya sea por efectos erosivos o tectónicos, caso contrario ocurre en el área San Vicente, donde se presentan los mayores espesores.

2.2.2 Estratigrafía del área San Vicente-Morrillo

En el área de San Vicente no se han perforado pozos, solamente se ha realizado mapeo superficial (Fig. 2.7), como por ejemplo el estudio realizado de D.B. Brown (1960), geólogo inglés del campamento minero Ancón, en el que se describen rocas de las formaciones Santa Elena, Azúcar, Seca, Punta Ancón. La formación Socorro no aflora en esta área.

Formación Santa Elena (Maestrichtiano-Paleoceno Inferior).

Estos afloramientos son de varios tamaños, los grandes se exponen al Nor-este del poblado de San Vicente (Fig. 2.7),

formando colinas quebradizas, con contenido de chert y un poco de lodolita silíceo. Los afloramientos pequeños se exponen al

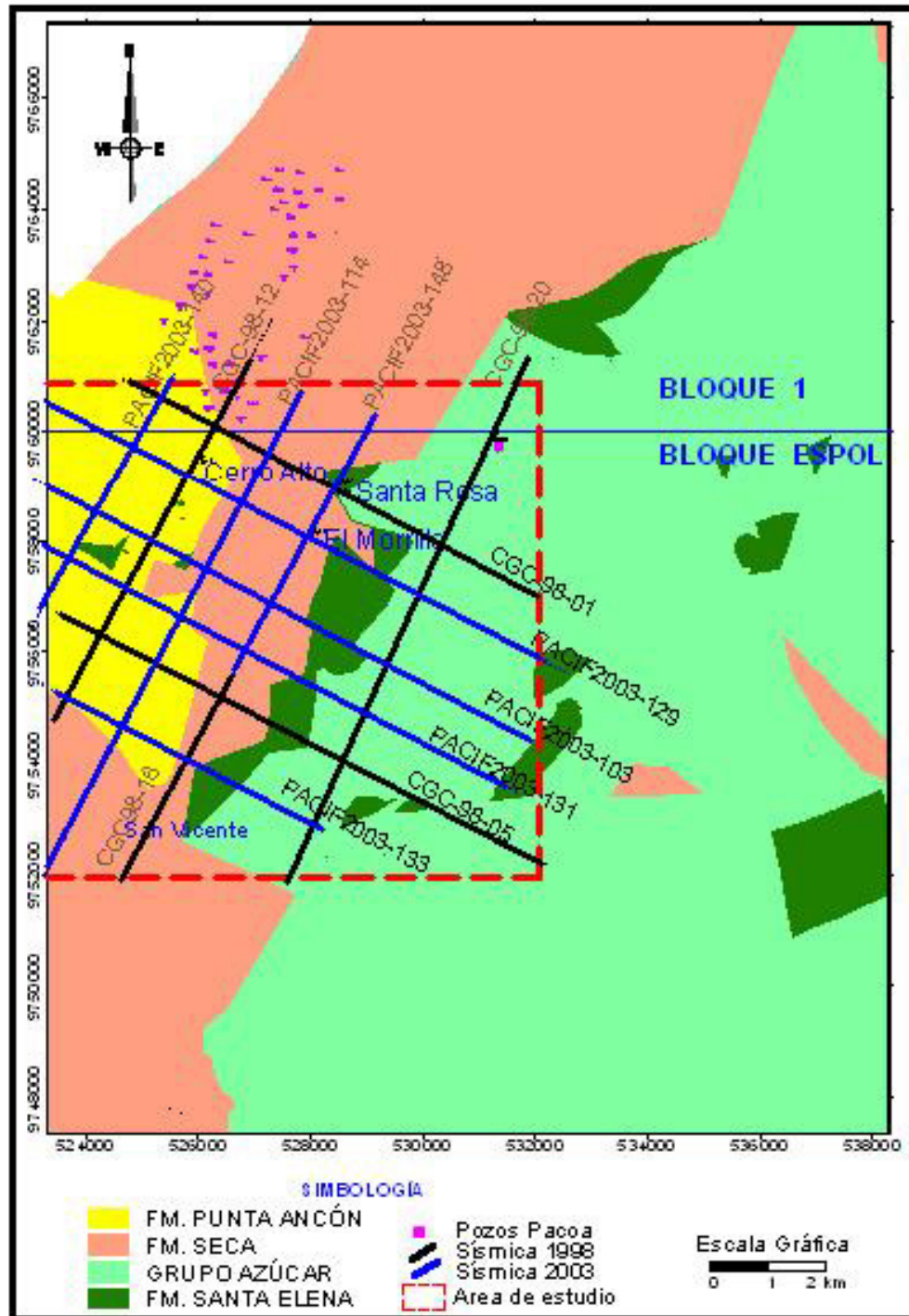


Figura 2.7.- Mapa de afloramientos en el área de San Vicente-Morrillo (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1960).

Suroeste de Cerro Alto, como una amplia variedad de sedimentos duros con trazas de radiolarios. Dentro de este grupo el bloque más grande cubre un área de 0,25 Km², aflorando lodolita silíceo y chert junto con “augen chert” (masa esferoidal de chert bandeado); vistos también en los más pequeños afloramientos.

Rocas ígneas consideradas como las rocas volcánicas de la Fm. Piñón forman parte del afloramiento más grande del cretácico del área Suroeste de Cerro Alto, vistos en el campo de color café, desmenuzables y groseramente cristalinos, identificados en secciones delgadas como doloritas meteorizadas (diabasa). También es posible encontrar arcillolitas, que deja en las manos una coloración negra, lo que puede ser una consecuencia de la reducción de los compuestos ferruginosos localmente abundantes, (Brown, 1960).

Esta unidad es alóctona en el área como se demostrará en el Capítulo 5 y está emplazado mediante un sobrecorrimiento que denominaremos napa El Morrillo. Esta napa se conforma por los restos cretácicos (wildflych: rocas ígneas + bloques de la Fm.

Santa Elena + matriz Eoceno medio) y sobre ellos la formación Azúcar.

Grupo Azúcar (Paleoceno).- Aflora en el sector oriental del área de estudio (Fig.2.7). Localmente aparece en sitios aislados formando esferas de areniscas cementadas generalmente mezcladas con fragmentos de lutitas silíceas o de rocas ígneas o tobáceas de las formaciones Cayo y Piñón. Interpretando las descripciones de Brown (1960) se trataría de mezclas de depósitos gravitacionales con fragmentos de varias formaciones. Estas rocas del Grupo Azúcar tienen tendencia a meteorizarse formando un suelo de color café rojizo.

Este Grupo junto con la formación Santa Elena forman la napa El Morrillo.

Formación Seca (Eoceno Medio Superior).- Según la Fig. 2.7, este afloramiento se extiende de Norte a Sur en el centro del área de estudio. A dos kilómetros al SSO de Cerro Alto, la litología predominante es una arcillolita pobremente estratificada, limosa, yesífera, con finos nódulos de limolitas suaves y brillantes. La presencia de arenisca en las arcillolitas es interpretada como resultado de la disturbación tectónica después de la consolidación (Brown, 1960).

Formación Punta Ancón (Eoceno Medio Superior).- En el área de estudio el afloramiento de esta formación se ubica solamente desde el poblado de San Pablo al Norte hasta las cercanías del poblado San Vicente al sur (Fig. 2.7), con una geomorfología montañosa. En Punta del Morro cerca de San Pablo, se exponen areniscas más duras como bloques de cantos rodados de color encendido, a veces parduzco, dentro de areniscas más suaves de color blanco (color característico de esta formación). En una lámina delgada de un canto rodado se muestra que la arenisca está cementada con calcita.

2.2.3 Prospectos petroleros del Campo Pacoa

En el reporte de Canada Grande (1999), en base a los datos de producción concluye lo siguiente:

- 1) La formación Atlanta no se encuentra presenta en el campo Pacoa.**
- 2) Las Formaciones Cayo y Santa Elena no constituyen prospectos para la exploración en Pacoa.**

3) La “formación El Rosario” constituye un buen prospecto en el Campo Pacoa y puede serlo también en el área de San Vicente-Morrillo. A pesar de que es litológicamente similar a la formación Santa Elena, la “formación El Rosario, tiene diferentes rasgos petrofísicos debido a la condición de brechamiento que la convierten en favorable para la prospección petrolera. En, conclusión si no hubiera una formación con una condición textural como la llamada “formación El Rosario”, entonces no hubiera la posibilidad de encontrar hidrocarburos en cantidad comercial tal como sucede en los pozos San Pablo y Norte Salinas.

4) La formación Socorro en el campo Pacoa, es el principal reservorio de petróleo y podría serlo también en el área San Vicente-Morrillo. En esta formación se distinguen cuatro niveles productores empezando desde arriba: Nivel D, C, B y E. A continuación se describirá brevemente la litología del nivel C por ser el principal reservorio.

- Nivel C.- Esta arenisca es considerada como el principal evento clástico de la secuencia arenosa Socorro. La arenisca está constituida de abundantes clastos de feldespatos y líticos volcano-porfiríticos de colores verde,

negro y rojo; el grano es sub-angular a sub-redondeada y el tamaño varía gradualmente de medio en la base a fino hacia el tope; es moderadamente consolidada, pobremente clasificada presentando una matriz tobácea-arcillosa; localmente presenta cemento calcáreo (López, 1999). Presenta valores de resistividad de 10 a 20 ohm-m y lecturas de rayos gamma de 24 a 32 unidades; el registro sísmico presenta valores promedios de DT 90 μ s/ft. Su espesor promedio varía entre 30 y 50 pies (9 y 15 m). Cabe indicar que la porosidad no es primaria.

2.2.4 Correlación entre el campo petrolero Ancón y el campo Pacoa.

Los campos petroleros de Ancón y Pacoa se relacionan por ser ambas zonas subsidentes del Eoceno medio. Aunque las dos áreas tienen una historia similar de relleno sedimentario, existe entre ellas una notable diferencia, ya que, mientras en el campo Ancón se presenta una potente secuencia de rocas cuarzíticas que corresponden a la formación Atlanta de edad Paleoceno y que constituye el principal reservorio de este campo, esta secuencia no se encuentra presente en el campo Pacoa.

El Grupo Ancón del Eoceno medio, en el área de Ancón sobreyace a la formación Atlanta y en área del campo Pacoa sobreyace a la formación Santa Elena. Este hecho y otros como la composición mineralógica de la formación Atlanta, han conducido a considerar que esta formación corresponde a un bloque alóctono que pudo haber sido desplazado desde el sur (Talara, Perú) hasta la posición actual por efecto de algún sobrecorrimiento ocurrido durante la fase tectónica del Eoceno Inferior (Benítez, 1995).

El Grupo Azúcar como napa en el campo San Vicente-Pacoa.-

Por efecto de fallas de desplazamiento de rumbo (que dominan la Península de Santa Elena), el alóctono Grupo Azúcar fue desplazado como napa hasta la zona oriental del área de estudio a partir del plegamiento de la formación Atlanta en el campo petrolero Ancón. Lo descrito se muestra en la Fig. 2.8 que es producto de la interpretación de las líneas sísmicas CGC98 -10 y CGC98-20; la primera línea ingresa al campo petrolero de Ancón y la segunda al área San Vicente-Morrillo (Fig. 2.9). La línea sísmica CGC98-20, muestra la napa del Grupo Azúcar sobre el Wildfysch de Santa Elena ésta a su vez sobre el Grupo Ancón; lo que hace pensar que el Grupo Azúcar siendo del Paleoceno le ha tomado un largo período de traslado hasta su posición actual.

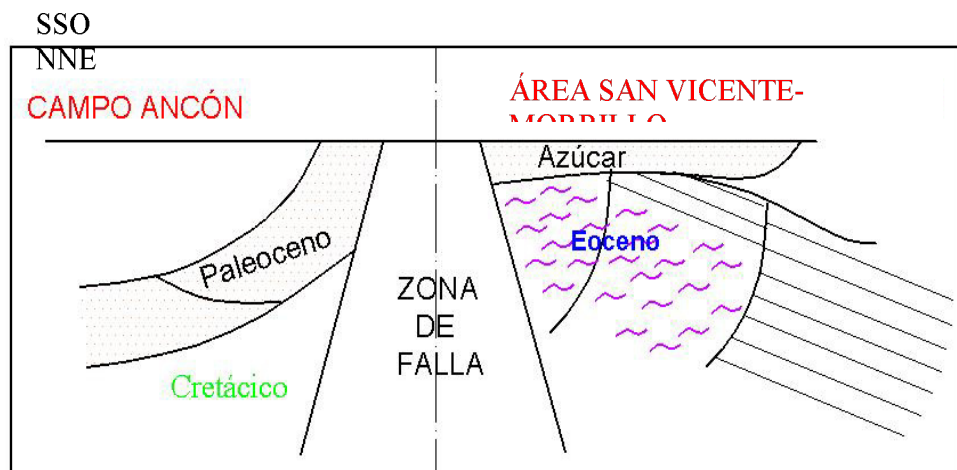
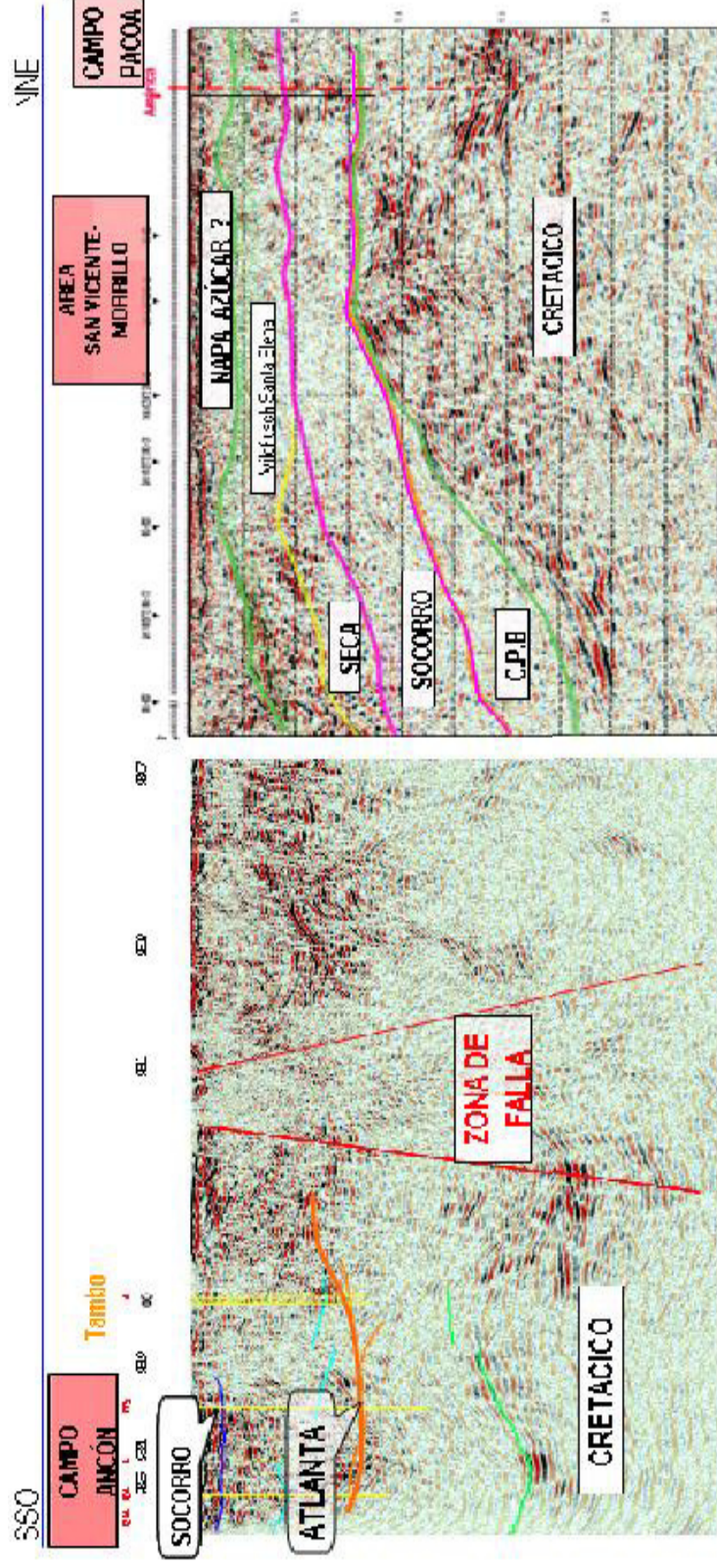


Figura 2.8.- El Grupo Azúcar como napa en el área San Vicente-Morrillo.

La Fig. 2.10, muestra el posible límite del Grupo Azúcar. Este límite lo formarían fallas de desplazamiento de rumbo de dirección NE-SO.



LINEA CGC98-10

LINEA CGC98-20

Figura 2.9.- Napa del Grupo Azúcar? en el área de estudio y en el campo Pacoa (LÍNEA CGC98-20).

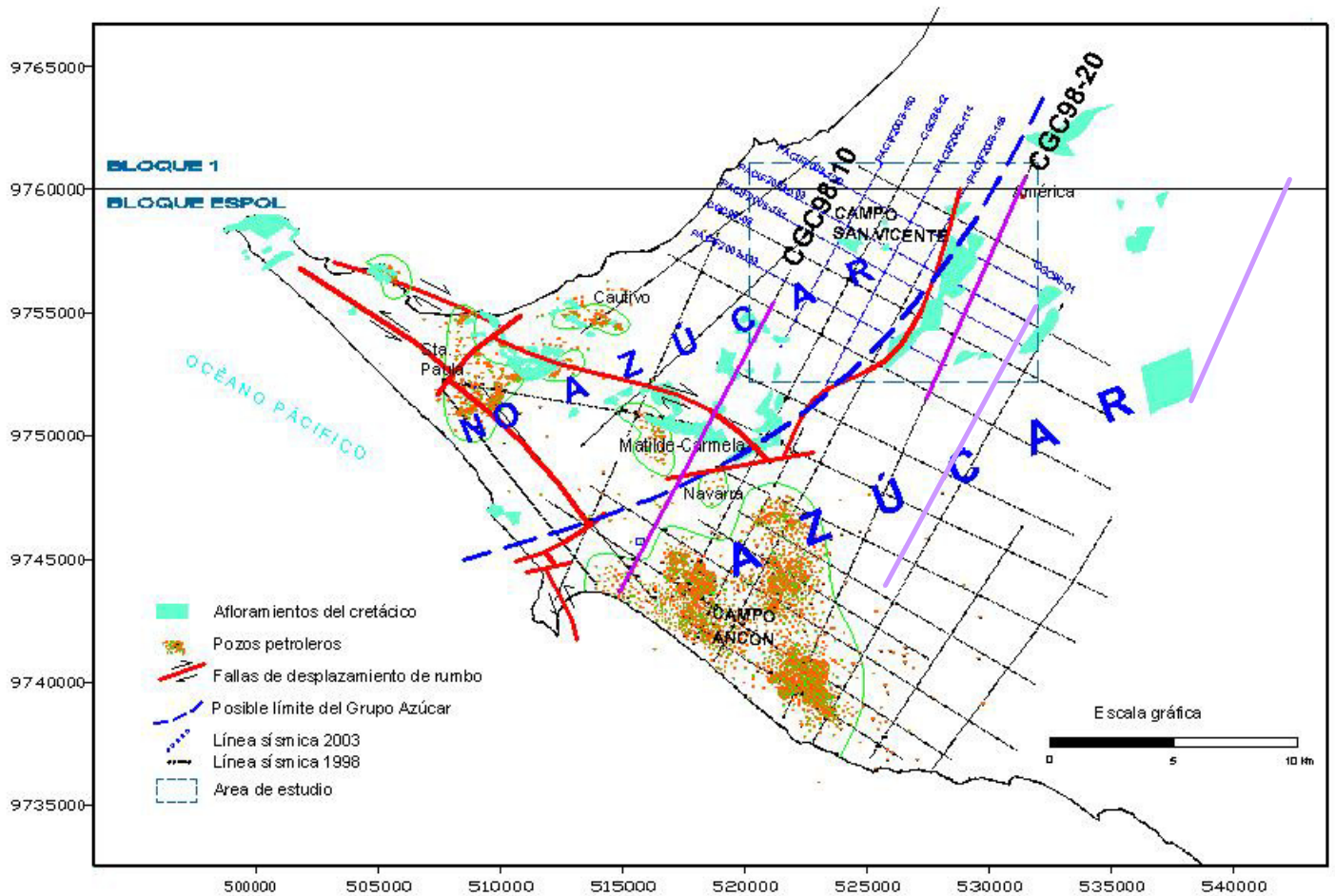


Figura 2.10.- Posible límite de la depositación del Grupo Azúcar (según Benítez, 1995)

CAPÍTULO 3

TRABAJOS PREVIOS

3.1 Trabajos realizados en el Bloque ESPOL

El área correspondiente al bloque ESPOL, ha sido estudiada por muchos años, llevándose a cabo trabajos geológicos, gravimétricos, magnetométricos, geoquímicos, análisis de registros eléctricos y sísmica, entre otros, con la finalidad de definir el marco geológico regional e identificar estructuras con capacidad de almacenar hidrocarburos, es decir ampliar el área de exploración, habiéndose limitado a desarrollar los campos descubiertos hasta 1960, año hasta el cual se llevaron adelante los mayores esfuerzos exploratorios.

A continuación se hace una reseña de estos trabajos:

3.1.1 Estudios Geofísicos

Gravimetría.- Entre 1945 y 1948 se llevó a cabo una importante campaña de gravimetría efectuada por Gravity Meter Exploration Co., la cual fue la principal herramienta para dirigir los esfuerzos exploratorios fuera de la zona de yacimientos ya conocidos hasta entonces.

La compañía Carson Services, Aerogravity Division, en noviembre de 1996 realizó el relevamiento del Bloque, el cual consistió en la adquisición de 1408 Km de datos de gravimetría y magnetometría.

En el mapa gravimétrico (Fig. 3.1) se puede observar anomalías gravimétricas positivas (tienden a colores rojizos) están relacionadas con rocas de mayor densidad (Cretáceo) y las negativas (tienden a colores azulados) de densidad menor (Terciario); así en el área de estudio se puede observar que la cuenca en la que se localiza la estructura Pacoa ingresa en la parte Norte del Bloque ESPOL y presenta un eje que tiene una orientación NO-SE.

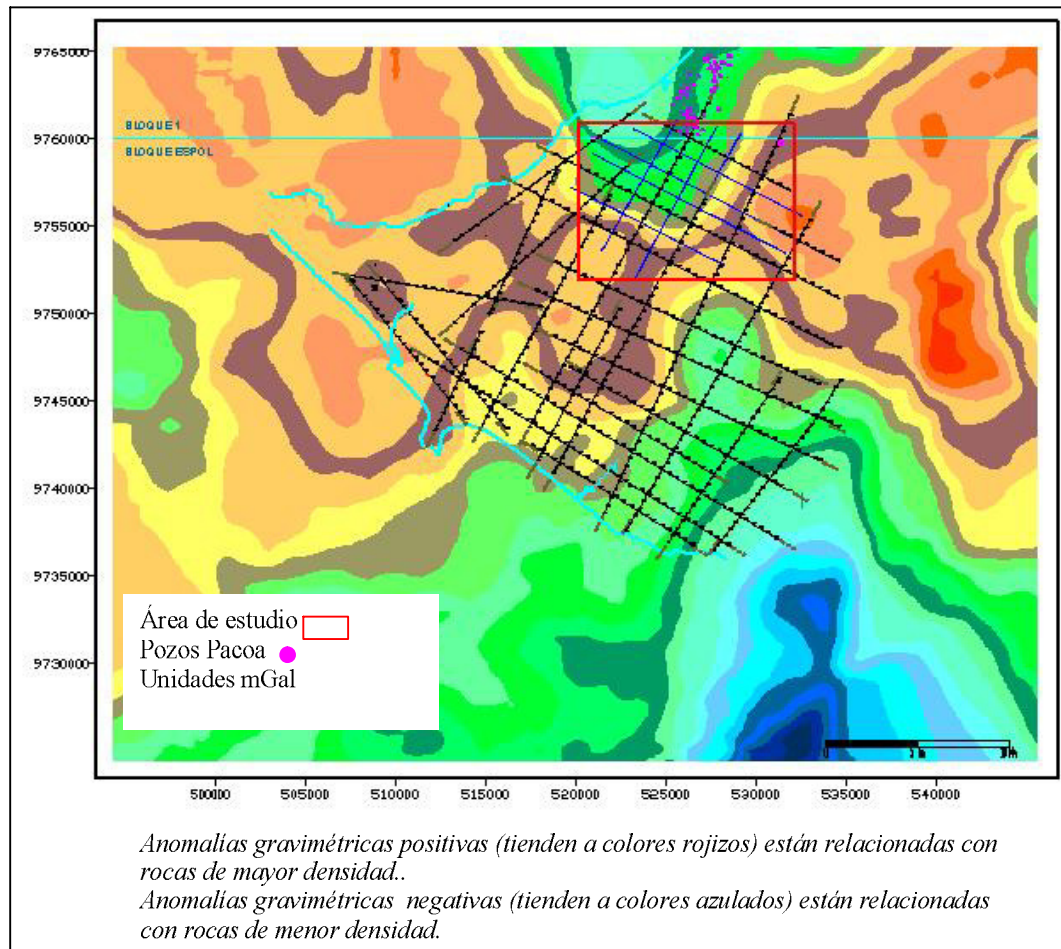


Figura 3.1.- Mapa Gravimétrico (CGC, 1996)

Campañas Sísmicas.- En los años 1944 y 1966 se realizaron mediciones sísmicas en las áreas de Ancón, Aragón y Progreso, obteniéndose pobres resultados; sin embargo hay que recordar que la sísmica de aquel entonces era puramente analógica y que ha ido evolucionando hasta ser hoy en día totalmente digital. A continuación se presenta un resumen histórico del registro sísmico

en el Bloque Santa Elena (Tesis de Grado “Comportamiento Estructural del Área Santa Paula – Punta Carnero”, 1999, J. Albuja y H. Freire):

A partir de 1976 se han efectuado varias campañas de sísmica marina por cuenta de CEPE y BELCO.

En el año 1980, Western Geophysical, utilizando el sistema Vibroseis, registró para CEPE (siguiendo las carreteras) 141 Km con un recubrimiento de 2.400%, 75 m de distancia entre estaciones con el equipo de registro LRS 888 COBA II. La calidad de esta información es pobre debido fundamentalmente a que los parámetros usados no fueron los óptimos: la transmisión de energía no fue suficiente a causa de que dichas líneas se ubicaron sobre caminos, los cuales en muchas ocasiones se encuentran sobre bases con material de baja velocidad, lo que dificulta la transmisión y recepción de energía. En consecuencia las líneas tienen información en los niveles superiores cuando corresponden a sedimentos eocénicos y no hay definición clara para los niveles cretácicos, a profundidades mayores de 1 segundo. Cuando los niveles cretácicos están aflorando o cercanos a la superficie, no hay resolución sísmica.

En 1984, la compañía GECO realiza para CEPE la línea CP-4P, de 13 Km con los siguientes parámetros de adquisición: 2400% de recubrimiento, 25 m entre estaciones, equipo OPSEIS LEV. 1, utilizando explosivos con pozo único a 20 m de profundidad, 5 libras de carga y 144 canales. Esta línea atravesó varios pozos de diferentes campos, lo cual permitió utilizar la información geológica para correlacionarla. La distribución de carácter areal de los pozos utilizados para la interpretación hace que por efectos del buzamiento unidos a variaciones de espesor no se observe una correspondencia clara entre algunos topes, especialmente dentro de la parte mapeada como Atlanta Sandstone (CEPE, Departamento de Geofísica, 1985). La línea tiene información aceptable hasta 1 segundo, pero no define con claridad la interfase entre Paleoceno y Cretáceo, por lo tanto es difícil interpretar el tope de la formación Cayo, lo que es importante para determinar eventos estructurales del basamento que permitan mejorar la interpretación estructural regional (G. Hinojosa, 1997).

En 1997, CGC-ESPOL realiza una línea de prueba de 14 Km cortando a la línea CP-4P. DIGICON la ejecuta utilizando los parámetros siguientes: disparo cada 30 m, intervalo entre estaciones 15 m, 360 canales, recubrimiento 9.000%, equipo de

registro I/O System II. Los parámetros utilizados permiten una mejor definición sísmica y se logra ver el basamento con mayor detalle, permitiendo valorar todo el potencial que pudieran tener las formaciones cretácicas. Con relación a los niveles correspondientes al Paleoceno-Eoceno (Formación Atlanta), la definición no es muy buena.

A inicios de 1998, la compañía 3D Geophysical of Latin America Inc. Western, realizó para CGC el registro de 400 km de datos sísmicos 2D en el área del Bloque. Este proyecto consta de 27 líneas sísmicas, cuya adquisición de datos se inició el 24 de Marzo de 1998 usando un equipo telemétrico I/O SYSTEM II, disparo cada 20 m, intervalo entre estaciones 10 m, 480 canales, recubrimiento 12000%. Al aumentar el recubrimiento se obtuvo una mejor definición tanto de los niveles someros como profundos.

Tabla I.- Parámetros de registros sísmicos en el Bloque ESPOL.

COMPAÑIA	AÑO	DIST. (Km)	FUENTE DE ENERGÍA	% RECUB.	LONGITUD REGISTRO (seg)	DISTANCIAS		Nº CANALES	CARGA		VIBRADORES	EQUIPO
						PT (m)	ESTAC. (m)		CANT.	PROF.		
WESTERN	1980	141	VIBROSEIS	2400	7	75	75	48	-	-	3	LRS 888 COBA II
GECO	1984	13	DINAMITA	3600	5	50	25	144	5 lbs	20 m	-	OPSEIS LEV. 1
DIGICON	1987	14	PENTOLITA	9000	5	30	15	360	1 Kg	10-20m	-	I/O SYSTEM II
WESTERN 3D GEOPHYSICAL	1998	400	PENTOLITA	12000	5	20	10	480	1 Kg	5 m	-	I/O SYSTEM II

3.1.2 Perforaciones

Los campos explotados constituyen el 6% del área del bloque, en la cual se han perforado 2.829 pozos. El campo principal corresponde a Ancón, como se pudo distinguir en la figura 1.3.

Distintas campañas de perforación se han realizado desde 1921 hasta 1967, año en el que se produce un descenso importante en la producción. Entre noviembre de 1996 y diciembre de 1997 se perforaron 15 pozos, de los cuales 6 corresponden al campo Santa Paula. Hasta el 2003 se reportó en Ancón una producción promedio de 1700 barriles por día.

En la figura 3.2 se presenta un resumen del número y estado de los pozos.

- **# pozos productivos:** 742
- **Estado de los pozos:**
 - **Abandonados:** 81
 - **Desconocido:** 202
 - **Productivos:** 742
 - **Suspendidos para Abandono:** 862
 - **Suspendidos para Producción:** 822
 - **Parados Transitoriamente:** 120
 - **TOTAL:** 2829

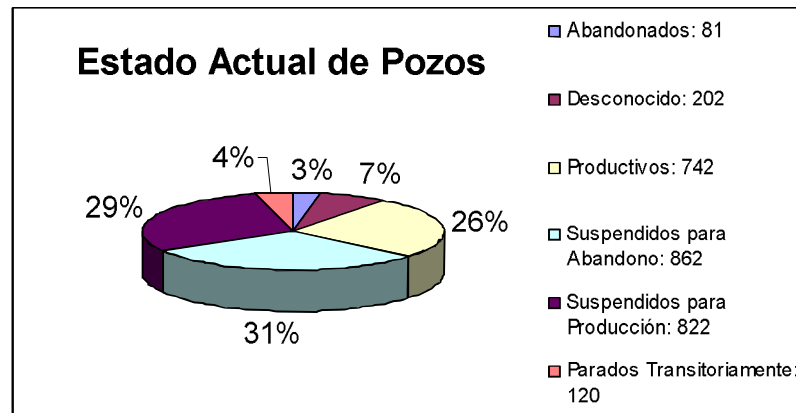


Figura 3.2.- Estado de pozos a Diciembre de 1998 (CGC, 1999).

3.2 Trabajos realizados en el Bloque 1

El Bloque 1 está localizado al norte y oeste del Bloque ESPOL (Ver Fig. 1.2); tiene una extensión de 4.000 km², de los cuales 3.000 Km² se encuentran costa afuera y 1000 Km² en tierra.

Anglo Ecuadorian inició la exploración en 1940, perforando los primeros pozos exploratorios. BELCO comenzó la exploración del Bloque 1 el 25 de julio de 1985 y perforó pozos exploratorios entre 1988 y 1989. Tripetrol obtuvo la concesión del Bloque en 1989 y perforó varios pozos exploratorios, y el 22 de abril de 1992 el Ministerio de Energía y Minas aprobó la explotación del Campo Pacoa, que cuenta con una extensión de 15 Km², siendo el principal campo productivo del bloque, seguido del Área Monteverde, que constituye un campo poco productivo.

Durante los primeros 18 meses de producción del Campo Pacoa no se obtuvieron los niveles de producción pronosticados en el Plan de Desarrollo Inicial, por lo que Tripetrol Exploration and Production Company (en ese entonces llamada así); realizó una revisión del Plan de Desarrollo.

Al 30 de abril de 1994 se obtuvo una producción acumulada de 170.271 barriles de petróleo. Desde esta fecha hasta el 30 de abril del 2002 se han producido 1,182.003 bls de petróleo; restando esta producción a los 23,11 millones de bls de petróleo (reservas pronosticadas en 1994), quedarían unas reservas remanentes oficiales aprobadas de 21,927.997 Bls de petróleo al 30 de abril de 2002. Estas reservas remanentes debieron ser revisadas y actualizadas en 1999 por la nueva operadora Canada Grande, con información de los pozos perforados después de 1994 y nueva información de sísmica y geología.

3.2.1 Estudios Geofísicos

Gravimetría.- La primera campaña de gravimetría, realizada entre 1945 y 1948 como se mencionó antes, se extendió por todo el Bloque ESPOL y se prolongó hasta el Bloque 1. Sus resultados permitieron la perforación de los primeros pozos exploratorios

como Aragón 1 y 2, Centinela-1, San Gabriel-1 y América -1, ubicándolos en altos gravimétricos.

Campañas Sísmicas.- Durante el período exploratorio de la BELCO se corrieron 3200 Km de líneas sísmicas en el sector costa afuera, las cuales fueron complementadas con estudios gravimétricos y magnetométricos. También se corrieron 600 Km de líneas sísmicas en tierra, en algunos sectores sólo a nivel de reconocimiento y en otros para definir la estructura Pacoa.

La compañía Canada Grande (mayo, 1999), realizó el reprocesamiento de las líneas sísmicas con el fin de mejorar la calidad de la información existente y hacer una reinterpretación de los datos para redefinir el potencial hidrocarbúfero. Se reprocesaron 31 líneas que corresponden a diferentes campañas de registro. A continuación la Tabla II resume los parámetros de registro, los cuales se utilizaron en la adquisición de datos sísmicos.

Tabla II.- Parámetros de registros sísmicos en el Bloque 1.

COMPAÑÍA	AÑO	FUENTE DE ENERGÍA	DISTANCIAS		No. CANALES	COBERTURA	CARGA	
			Estaca (m)	Punto Tiro (m)			Cant.	Prof.
GEOSOURCE	1988	Dinamita	25	50	120	30	10 lbs	25 m
WESTERN	1990	Dinamita	25	25	240	120	2 lbs	10 ft
HGS(1)	1991	Dinamita	25	25	120	60	2 lbs	3 m
HSS(2)	1991	Dinamita	12,5	12,5	120	60	300 gr	3 m

3.2.2 Perforaciones

Los primeros pozos exploratorios del Bloque 1 fueron perforados por la compañía Anglo Ecuadorian Oilfields; éstos son (Fig. 3.3): Carrizal (1944), Aragón-1 y Aragón-2 (1950), Centinela (1953), América (1958) y Aragón-3 (1964). Ninguna de estas perforaciones permitió el descubrimiento de yacimientos comerciales de hidrocarburos.

BELCO, después de 20 años de exploración, perforó cuatro pozos exploratorios entre 1988 y 1989: Dorado XI, Montañita X1 y North Salinas, perforados costa afuera sin hallazgos de hidrocarburos y solamente el pozo San Pablo (1989), perforado costa adentro el mismo que presentó manifestaciones de hidrocarburos en la formación Socorro.

TRIPETROL, en 1989, adquirió la concesión del bloque y perforó en total cinco pozos exploratorios que definieron la estructura Pacoa: La Mata Chivato (1990), Pacoa 1 (1991), Guayacán (1991), Palo Santo (1991) y Pechiche (1992). Para desarrollar el campo perforó 43 nuevos pozos de desarrollo entre 1992 y 1995.

Actualmente, el operador del Bloque 1 es la compañía Canada Grande, manteniendo 39 pozos en producción de 145 bls de petróleo por día (producción 2004).

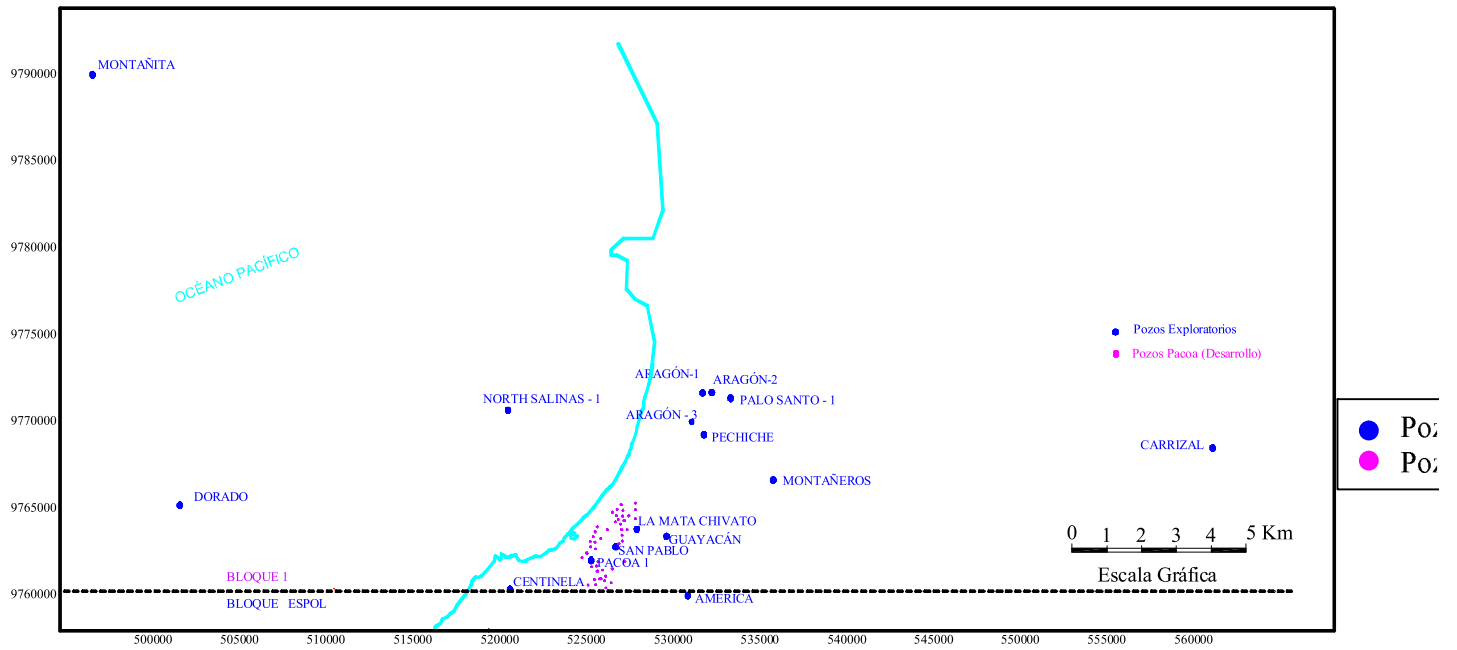


Figura 3.3.- Pozos perforados en el Bloque 1 (Canada Grande, 1999)

CAPITULO 4

SÍSMICA DE REFLEXIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Adquisición de Datos Sísmicos. Programa 2003

Como resultado de la interpretación de la información sísmica obtenida en 1998, PACIFPETROL definió dos zonas prospectivas a ser evaluadas más en detalle, estas dos zonas constituyen: el área Transvaal-Navarra y el área San Vicente-Morrillo. El proyecto 2D corresponde al área San Vicente – Morillo (área de tesis). La adquisición de datos la realizó la compañía GRANT Geophysical, comprendiendo 68 Km de líneas sísmicas 2D en las siguientes etapas:

- 1 Topografía.
- 2 Perforación de puntos de tiro.
- 3 Registro de Datos.

4.1.1 Topografía

Se inició el 5 de abril del 2003 con el arranque de las líneas PACIF2003-114 y PACIF2003-148. Se terminó de nivelar la última estaca el 12 de Abril del 2003.

Las líneas se numeraron tomando la estaca 1001 como origen, a excepción de la línea 148 cuya numeración empezó con la última estaca de la línea CGC98-16 de la campaña símica del año 1998, y la línea 103 que se numeró a partir de 1101 por problemas operacionales con el equipo de registro. El origen fue ubicado al Noroeste en las líneas de sentido Noroeste-Sureste y al Suroeste en las líneas con sentido Suroeste-Noreste.

La localización y levantamiento de las líneas se realizó por el sistema de nivelación trigonométrica; los cálculos de las coordenadas y elevaciones se basaron en la red de puntos GPS y de nivelación colocada por el IGM por todo el territorio Ecuatoriano.

4.1.2 Perforación de puntos de tiro

En la campaña sísmica 2D, el programa de perforación consta de 3400 pozos en una distancia de 68 Km lineales. Los pozos fueron perforados y cargados con cápsulas de 1000 gr de dinamita (pentolita dirigida) sísmica y un fulminante eléctrico.

Se utilizaron taladros acoplados a una torre de perforación con tubería de hierro acerado que mide 1.20 m de largo; se utilizaron 5 tubos por equipo para alcanzar los 5 m de profundidad del pozo. Compresores y tuberías con brocas de tungsteno se utilizaron en suelos secos y espirales en terrenos fangosos (Figs. 4.1 y 4.2).



Figura 4.1.- Perforación con compresores de aire y tuberías en suelos secos



Figura 4.2.- Perforación con espirales en terrenos fangosos.

Con el fin de reducir el peligro y evitar daños en estructuras de concreto, caminos, acueductos, oleoductos, gasoductos, etc., y apegándose a las normas de seguridad y al Plan de Manejo Ambiental, se decidió utilizar la tabla de distancias mínimas (Tabla III) que se indica a continuación. Además se realizaron pruebas con los técnicos de Explocen los cuales recomendaron las distancias más seguras para los disparos. No se perforó en sitios de reproducción y alimentación de fauna ni en zonas arqueológicas.

Tabla III.- Distancias Mínimas para la ubicación de Explosivos
(GRANT Geophysical, 2003)

Acueductos enterrados	30 metros
Oleoductos	30 metros
Gaseoductos	30 metros
Líneas de Comunicación	5 metros
Líneas de Energía Eléctrica	60 metros
Estructuras de Concreto	30 metros
Caminos de primer orden	10 metros
Caminos de segundo y tercer orden	3 metros
Pozos de agua	60 metros
Pozos de petróleo o gas	3 metros
Cuerpos de aguas superficiales	15 metros
Casas de madera y concreto	30 metros

4.1.3 Registro de Datos

Equipo de Registro

El equipo de registro comprende:

- 1.- La Central Electrónica INPUT/OUTPUT IMAGE SYSTEM 2000,
donde el registro se graba en 2 cintas en formato de Grabación
en *SEG-D*.
- 2.- El Equipo de Campo.

Tabla IV.- Materiales del equipo de campo.

Materiales de campo	Unidades
Cajas telemétricas MRX (Fig.4.3)	579
Baterías	762(12 v)
Ristras de tierra de 6 elementos GS 30CT (Fig.4.4)	615
Cables MRX	624
Pelton Sho Pro (Fig. 4.5)	9



Figura 4.3.- Cajas telemétricas MRX (579 unidades).



Figura 4.4.- Ristras de tierra de 6 geófonos tipo GS 30CT.



Figura 4.5.- Herramienta de detonación Pelton Sho Pro.

Para el registro de datos se utilizó un equipo telemétrico INPUT/OUTPUT IMAGE SYSTEM 2000 denominado así (telemétrico) ya que utiliza cajas MRX (Miniature Remote Signal Conditioner Extended, Fig. 4.6) que captan la señal sísmica cerca donde se detecta, siendo la función de estas cajas el de convertir la señal analógica detectada por los geófonos en señal digital, la cual es transmitida por cable hasta la computadora.

Cada caja telemétrica capta la señal de 6 canales y transmite las señales en forma ordenada desde la más lejana hasta la más cercana, hasta transmitir la señal de todas las cajas.



Figura 4.6.- Caja MRX (color blanco) y Bateria

En el campo se obtienen por cada disparo dos tipos de registro conocidos como monitor y playback ; el primero contiene la señal en forma analógica habiéndose registrado directamente de los amplificadores de la cámara, y el segundo contiene la señal que ha sido grabada en la cinta magnética en formato binario (digitalmente), previo muestreo cada 2 ms.

El estado de los instrumentos y del equipo que interviene en el registro de los datos sísmicos juega también un papel importante para que la información generada sea lo más óptima posible. Para tener el instrumental en óptimas condiciones en el momento de registrar, es necesario realizar pruebas diarias para comprobar su buen funcionamiento.

En La Tabla V se muestra la lista de las líneas sísmicas que corresponden al área de estudio, corridas en la campañas sísmicas de 1998 y del 2003, las mismas que van a ser utilizadas para su interpretación posterior. Cabe destacar que en esta tabla se presentan los valores de la longitud total de las líneas CGC98-12, CGC98-16, CGC98-20, pero solo en el área de estudio se encuentra una parte de estas líneas; así: 12, 4.4, 10.8 Km respectivamente para las líneas mencionadas.

En el Mapa Base de líneas sísmicas (ANEXO A) se observan las direcciones que llevan las líneas sísmicas es así que el origen de las estacas fue ubicado al Oeste en las líneas de sentido Noroeste-Sureste y al Sur en las líneas con sentido Suroeste-Noreste. Las líneas sísmicas con numeración par van en sentido Suroeste-Noreste, con numeración impar van en el sentido Noroeste-Sureste. El nombre cada la línea se construyó con las 5

primeras letras de PACIFPETROL, seguidas del año y finalmente el número de línea, así: PACIF2003-129.

Tabla V.- Líneas de los Programas Sísmicos 1998 (WESTERN, 1998) y 2003 (GRANT, 2003).

LÍNEAS	COORDENADAS		Longitud Km	Azimut	Número de Estaca	Total Puntos de tiro
	ESTE	NORTE				
Programa Sísmica 1998						
CGC-98-01	524660,00 531932,00	9760940,00 9757044,17	8,25	118,10	1001 1826	413
CGC-98-05	518873,85 538704,44	9759100,98 9748792,24	22,35	117,28	1001 3236	1118
CGC-98-12	517400,00 527304,67	9743500,00 9762028,83	21,01	28,07	1001 3102	1051
CGC-98-16	518737,12 527103,09	9740879,15 9756511,27	17,73	28,09	1001 2774	887
CGC-98-20	521560,00 531872,30	9738570,00 9761355,00	25,01	24,21	1001 3502	1251
Programa Sísmica 2003						
PACIF2003-129	523259,34 532534,04	9760563,53 9755641,13	10,50	117,57	1001 2051	526
PACIF2003-103	521416,48 532104,47	9759997,31 9754324,84	12,10	117,57	1101 2311	606
PACIF2003-131	520965,94 531653,92	9759160,86 9753488,38	12,10	117,57	1001 2211	606
PACIF2003-133	519786,04 528197,31	9757236,50 9752820,55	9,50	117,42	1001 1951	476
PACIF2003-140	521446,92 525576,21	9753603,93 9761033,53	8,50	29,04	1001 1851	426
PACIF2003-114	523296,05	9752024,87			1001	

	527829,21	9760713,39	9,80	27,33	1981	491
PACIF2003-148	526545,27	9755458,24			2655	
	529148,76	9760303,02	5,50	28,15	3205	276

Intervalo de estacas = 10 m

Intervalo de puntos de tiro = 20 m

4.2 Parámetros de Campo

Los parámetros de campo seleccionados para realizar la adquisición de datos sísmicos (2003) fueron los mismos utilizados en la campaña sísmica Santa Elena del año 1998, ya que las secciones sísmicas en ese entonces obtenidas tienen buena calidad tanto para los objetivos profundos como someros. A continuación se presenta un resumen de los parámetros:

Profundidad de la Carga.- Para mejorar el rendimiento de la detonación se debe atravesar la capa meteorizada, pero ésta se presenta muy variable, es así que en otros programas sísmicos (Tabla I) la profundidad ha variado entre 5 y 20 m, explotando con una misma cantidad de carga; sin embargo en esta campaña se eligió 5 m de

profundidad, no existiendo un cambio apreciable en lo referente a la intensidad, velocidad y frecuencia de los impulsos registrados.

Cantidad de Carga.- *Seleccionada la profundidad de la carga se decidió utilizar pentolita sísmica dirigida como explosivo (Fig. 4.7), en una cantidad de 1 Kg por detonación la cual está diseñada especialmente para trabajos de exploración geofísica y que gracias a sus propiedades físico-químicas, su uso es posible inclusive cuando las condiciones del terreno son difíciles (presencia de agua o lodo) y asegura además una excelente propagación de la detonación direccional.*



Figura 4.7.- Explosivo con fulminante eléctrico.

Traza más cercana.- Se diseñó en función del objetivo más cercano a investigar (formación Socorro), que se presenta a una profundidad media de 250 m (800 pies). En éste caso la distancia a la que se encuentra la estaca más próxima al punto de tiro es de 5 m, tomando en cuenta que la información sísmica de interés geológico puede proceder de niveles muy someros. La separación (distancia entre punto de tiro y estaca) es para evitar los ruidos producto de la detonación y para obtener información de los primeros arribos y calcular las velocidades de los primeros estratos.

Traza más lejana.- Se diseñó tomando en cuenta el objetivo más profundo a investigar (Cretácico) que se presenta a 1500 m de profundidad. Considerando que el tendido es simétrico y que se tienen 240 canales, la traza más lejana se localiza a 120 canales del punto de disparo y como cada canal se encuentra a un intervalo de 10 metros, su distancia es 1200 m. En la campaña sísmica 1998, se usaron 480 canales, debido a que el objetivo más profundo en el campo Ancón, está a 2000 m.

Intervalo de Grupo (distancia entre estacas).- Se refiere a la distancia entre canales (Δx), siendo un factor determinante en el costo y en la

calidad del levantamiento sísmico. El intervalo de grupo adoptado fue de 10 metros para tener mayor resolución, tanto somera como profunda, considerando también que la zona se caracteriza por su compleja estructura fallada, consiguiendo así mayor información al tener las estacas más juntas (Fig.4.8).

Distancia entre Puntos de Tiro.- Se ha elegido una distancia entre puntos de tiro (ΔS) igual a 20 metros, por razones tanto económicas como técnicas. Al tener toda la línea cubierta con estacas cada 10 metros, el punto de tiro se ubica después de cada dos estaciones, esto es cada 20 metros, para lograr tener una cobertura de 6000 %, ya que si se aumentara la distancia se reduciría la cobertura en el subsuelo.

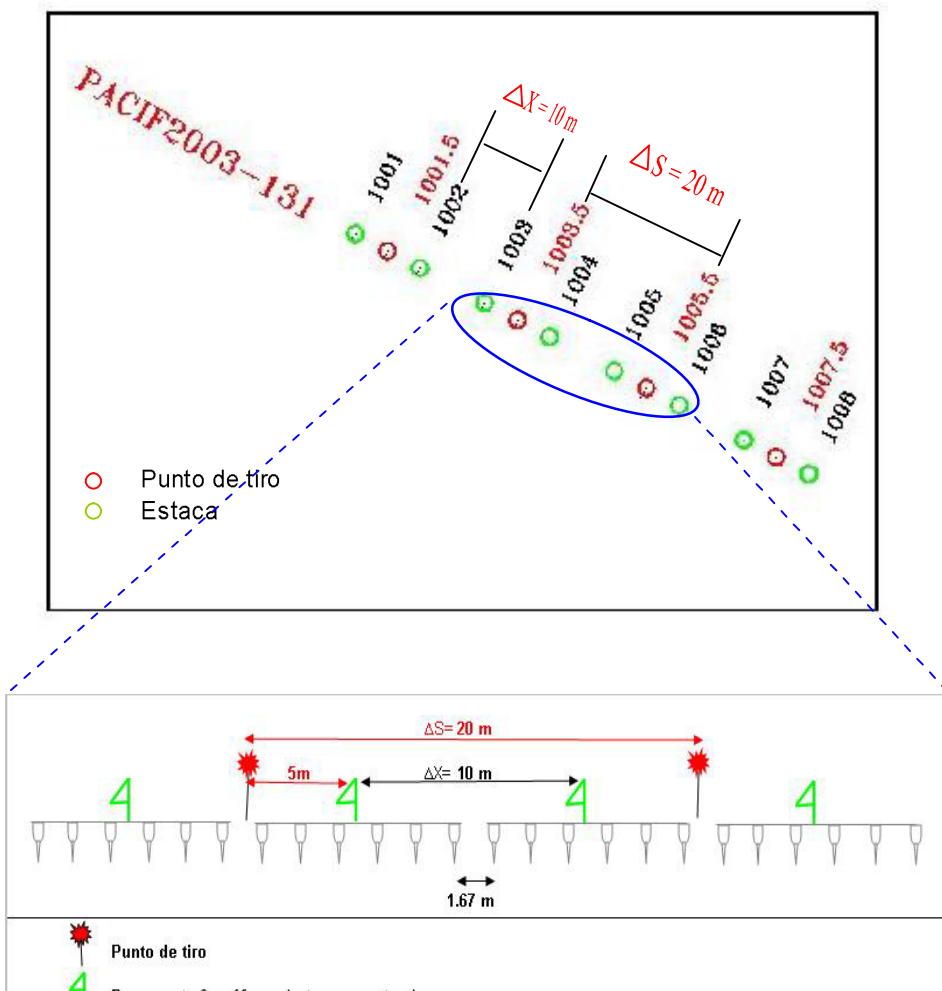


Figura 4.8.- Esquema de Adquisición de datos sísmicos

Cobertura Múltiple o Multiplicidad.- La técnica conocida como “punto de reflejo común”, Common Depth Point (CDP), “apilamiento, repetición o multiplicidad del subsuelo”, fue la que se aplicó al área de estudio. La cobertura es de 6000%, es decir, con una adecuada combinación de intervalos de grupos y puntos de tiro, se registran 60 perfiles de diferentes reflexiones provenientes de un mismo punto del subsuelo.

La cobertura múltiple está dada mediante la siguiente ecuación:

$$CDP = \frac{(N \text{ canales})}{2\Delta S} \Delta x$$

Donde:

CDP: Punto de Reflejo Común.

Δx : Intervalo de grupo (igual a 10 m en este caso).

ΔS : Intervalo de puntos de tiro (igual a 20 m en este caso).

Entonces:

$$CDP = \frac{(240)}{2(20)} 10 = 60 \Rightarrow 6000\%$$

Un mayor porcentaje de cobertura representa una información del subsuelo más detallada y clara.

Tipo de Dispositivo.- El tipo de dispositivo utilizado en el área del proyecto fue un tendido simétrico, dadas las facilidades que implica su utilización, como son: mínima distorsión de la señal a los grupos más lejanos y mejor muestreo de horizontes superficiales. Así, el tendido simétrico es el más idóneo ya que, como se mencionó anteriormente, la información sísmica de interés geológico puede proceder inclusive de niveles muy someros, y con éste se puede conseguir que la información sea el mejor tanto de niveles superficiales como profundos.

Muestreo de la Señal.- Normalmente el intervalo de muestreo de la señal en un trabajo de prospección sísmica es de 2 ms. En nuestro caso, la señal fue muestreada cada 2 ms desde 0 a 5 s para que la señal se presente lo menos distorsionada posible. Si el muestreo se

hubiera efectuado cada 4 ms la calidad de muestreo sería muy pobre; si el muestreo hubiera sido cada 1 ms el costo hubiera sido demasiado alto, pero los resultados serían más a detalle, lo que hubiera sido necesario al tratarse de un trabajo estratigráfico para poder abarcar capas de poco espesor.

Arreglo de los Geófonos.- Se refiere a la disposición de los geófonos a lo largo de la línea. En el área de estudio se decidió utilizar un arreglo lineal en el que 6 geófonos ubicados a 1,67 m uno del otro formen un canal, consiguiendo de esta manera que la línea esté totalmente cubierta (Ver Fig. 4.8).

En los casos en que la ubicación de los geófonos coincidió con un camino, desniveles en el suelo, u otros obstáculos, se decidió agruparlos con el fin de evitar ruidos producidos por la circulación de vehículos (Fig. 4.9). Los geófonos se agruparon en cambios de la topografía para evitar cancelaciones de las ondas producidas por los distintos tiempos de arribo en puntos cercanos, consiguiéndose de esta manera que la recepción de la señal sea la óptima.



Figura 4.9.- Geófonos agrupados.

Debido a la topografía del terreno, a la ubicación de casas, fuentes de agua (pozos, albarradas), líneas de alta tensión, oleoductos, poliductos, etc., fue necesario reubicar algunos puntos de tiro, a los que se les hizo su respectivo levantamiento topográfico. Algunas estaciones no pudieron ser colocadas en el campo y por lo tanto quedaron en solamente en el diseño sobre el mapa.

4.3 Procesamiento de datos sísmicos

La compañía GRANT Geophysical realizó la adquisición de datos sísmicos y el posterior procesamiento de datos de campo con el objetivo de controlar la calidad de la información y comprobar que los parámetros de la adquisición fueran los correctos. El procesamiento final fue realizado por la compañía Western Geco en Santa Fé, Bogotá, entre los meses de junio y agosto del 2003.

Para realizar el procesamiento se utilizó el software PROMAX que trabaja bajo el sistema operativo UNIX, con el cual se pueden manejar una gran cantidad de datos y realizar varios procesos simultáneamente gracias a que cuenta con una unidad central de procesamiento de 320 Gigabytes.

La secuencia básica de procesamiento de datos se presenta a continuación:

Ingreso de datos de campo.- Los datos registrados en campo, en formato *SEG-D*, son leídos y pasados al formato *SEG-Y*; esto facilita una primera verificación de que la información de campo ha sido bien grabada y puede ser leída sin ningún problema.

Aplicación de Geometría.- El propósito de esta aplicación es ubicar en su verdadera posición las estacas receptoras, los puntos de tiro, y las líneas receptoras de acuerdo a sus coordenadas dadas en X-Longitud, Y-Latitud y Z-Elevación, relacionando estos datos con los 240 canales grabados en el registro de una línea sísmica. Para ésto se generan tres archivos tipo texto: archivos con extensión **.R** que contienen las coordenadas de las estacas receptoras; archivos **.S** que contienen las coordenadas de los puntos de tiro, profundidad del pozo y el tiempo de

pozo (up-hole time); y archivos .X de tipo relacional que contienen la geometría completa de cada punto de tiro disparado.

Eliminación de Trazas Ruidosas.- Cuando el ruido es mayor en amplitud y frecuencia al de la señal sísmica, afecta la relación señal/ruido, por lo que debe ser eliminada. Se eliminan trazas producidas por el tránsito vehicular, presencia de personas o animales, en fin, cualquier defecto presentado desde antes de la grabación.

Filtros.- Se aplicaron filtros *pasa banda* de frecuencias de 20, 25, 45 y 60 Hz., que filtran información inútil de la señal eliminando los ruidos.

Recuperación de Amplitudes.- En este procedimiento se corrigen las amplitudes que decrecen en el tiempo ya sea por transmisión y absorción. Esto se corrige aplicando una *ganancia* variable en el tiempo o amplificando las trazas que para este proceso llegaron hasta 5 segundos, de esta manera la distribución de la amplitud es constante en el tiempo. Para la recuperación de amplitudes (Ver Fig. 4.10 A) se aplicó compensación de amplitudes por efecto del arreglo del tendido. Este proceso tiene en cuenta la geometría del tendido y la variación de la velocidad con el tiempo de propagación.

Deconvolución.- Con este proceso se busca restaurar la forma de la señal sísmica en su concepción original, acortando y agudizando la ondícula reflejada (Fig. 4.10 B), para mejorar la resolución de los reflectores, anulando o reduciendo efectos como reverberaciones, ruidos, *ground roll*, etc.

Los parámetros utilizados en la deconvolución son los siguientes:

Distancia de predicción: 16 ms

Longitud del operador: 240 ms

Porcentaje de Ruido Blanco: 0.01%

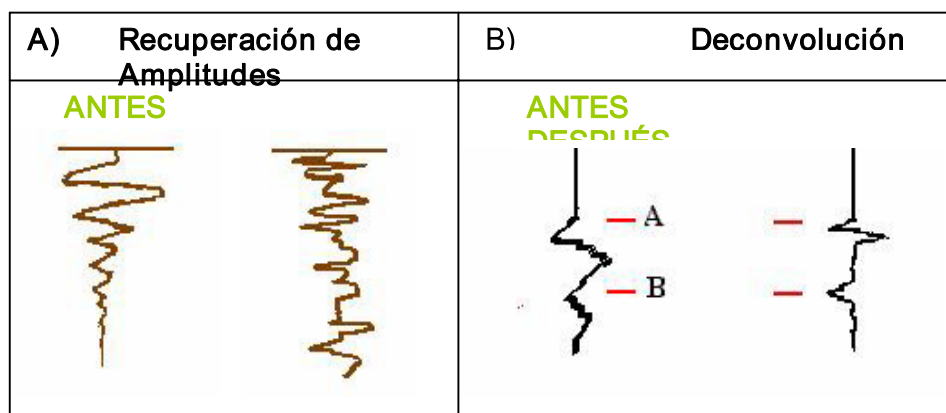


Figura 4.10.- Procesamiento de datos: A) recuperación de amplitudes y B) deconvolución de una traza sísmica.

Correcciones Estáticas.- Este procedimiento consiste en ubicar los Shot Point (SP) (puntos de tiro) y geófonos sobre un plano de referencia (Datum) ubicado por debajo de la capa meteorizada. Las reflexiones se alinean mediante una corrección en el tiempo de tipo estático (es decir

de valor constante para cada traza). Para la aplicación de correcciones estáticas se utilizó el método de *estáticas de refracción*, para el cual la velocidad de la capa meteorizada o capa de baja velocidad se la obtuvo de los primeros quiebres del registro. La velocidad de reemplazo utilizado para dicha capa es 2300 m/s y el plano de referencia (Datum) utilizado es 100 m sobre el nivel del mar.

Correcciones Dinámicas (NMO).- Este proceso, llamado corrección dinámica o corrección NMO (normal moveout), elimina el efecto de la curvatura debido al progresivo aumento de la distancia disparo-geófono. El proceso de corrección dinámica implica una distorsión de la traza o *estiramiento*. Este efecto de estiramiento es mayor en los primeros tiempos y a distancias lejanas del disparo.

El NMO varía de acuerdo a las siguientes reglas:

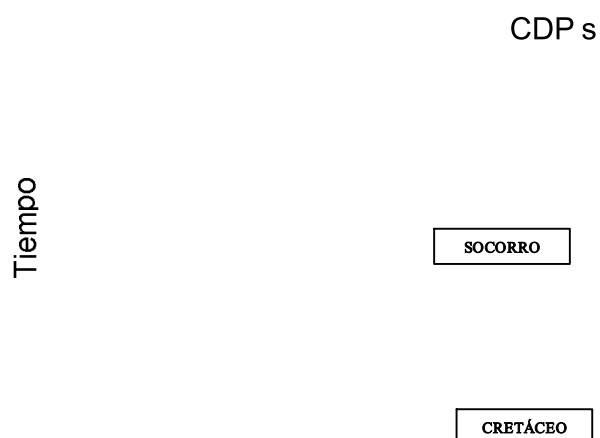
- Se incrementa con mayor distancia entre disparo y geófono.
- Decrece con mayor velocidad.
- Decrece con mayor profundidad (o tiempo).

Apilamiento (STACKING).- El objetivo de correcciones estáticas y dinámicas es el poder realizar apilamiento o stacking de las trazas de CDP en otras palabras reduce el número de trazas. El producto final del

procesamiento de datos sísmicos es una sección sísmica que sea análoga a una sección geológica ya que los límites entre capas de distinta velocidad generalmente coinciden con los límites geológicos, aunque no es una regla absoluta.

En la sección apilada (Fig. 4.11) se puede notar que hay información sísmica proveniente de niveles someros hasta 1500 ms. Los reflectores no presentan continuidad debido a la deformación compleja que presenta la Península de Santa Elena. Por el contrario, en el Oriente ecuatoriano los reflectores en una sección sísmica son continuos.

En el procesamiento final, realizado por la Western Geco, se adicionaron procesos como migración entre otros, basados en mecanismos matemáticos, con la finalidad de que mejore la resolución de la sección sísmica. Sin embargo cabe notar que en el presente estudio no se utilizaron líneas migradas.



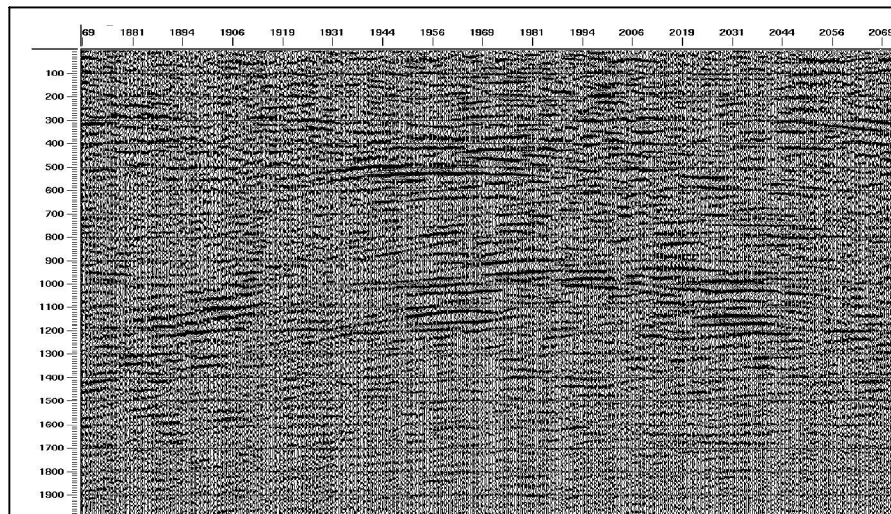


Figura 4.11.- Apilado Bruto de la línea PACIF2003-148
(GRANT Geophysical, 2003)

CAPÍTULO 5

INTERPRETACIÓN SÍSMICA

Para la interpretación se utilizaron 5 líneas de la campaña sísmica 1998 y 7 líneas del 2003 procesadas por Western Geco. Las primeras son secciones migradas y las segundas son no migradas. En total las doce líneas comprenden una longitud aproximada de 100 km.

Luego de la conversión del formato *SEG-Y* en archivos de extensión *.2ds*, en el software Geographix de Landmark, se procedió a graficar las secciones sísmicas a una escala horizontal de 20 trazas/cm y escala vertical de 8 cm/s, para realizar la interpretación a mano.

A continuación se presentan las etapas a seguir en la interpretación.

5.1 Etapas Preliminares

5.1.1 Recopilación de información existente.

Dado que en el área de estudio no existen pozos perforados se utilizó la limitada información que se pudo obtener de los pozos del bloque colindante (Bloque 1), esto es: topes formacionales (en tiempo y profundidad), producción, registros sísmicos y registros Gamma Ray. Como complemento a la información anterior se pudo contar con dos líneas sísmicas (GS-12 y B90-26). En el Bloque ESPOC se cuenta con el mapa geológico de superficie realizado por los ingleses, fotografías aéreas, topografía y datos de velocidad de procesamiento (velocidades sísmicas) de las campañas sísmicas correspondientes a 1998 y 2003 para la conversión tiempo-profundidad.

5.1.2 Incorporación de los topes formacionales en tiempo a las líneas sísmicas del área San Vicente-Morrillo.

Para realizar la interpretación sísmica del campo San Vicente, en primer lugar se trasladaron los datos de los topes formacionales (en tiempo) de los pozos Pacoa a las líneas sísmicas del área de estudio; estas líneas son: CGC98-12, CGC98-01, CGC98-20 y PACIF2003-103, por estar más cerca de los pozos seleccionados

(Ver Fig. 5.1 y tabla VI). Son pocos los pozos escogidos 8 de 43 pozos Pacoa debido a que el resto está muy alejado de las líneas sísmicas del área de estudio.

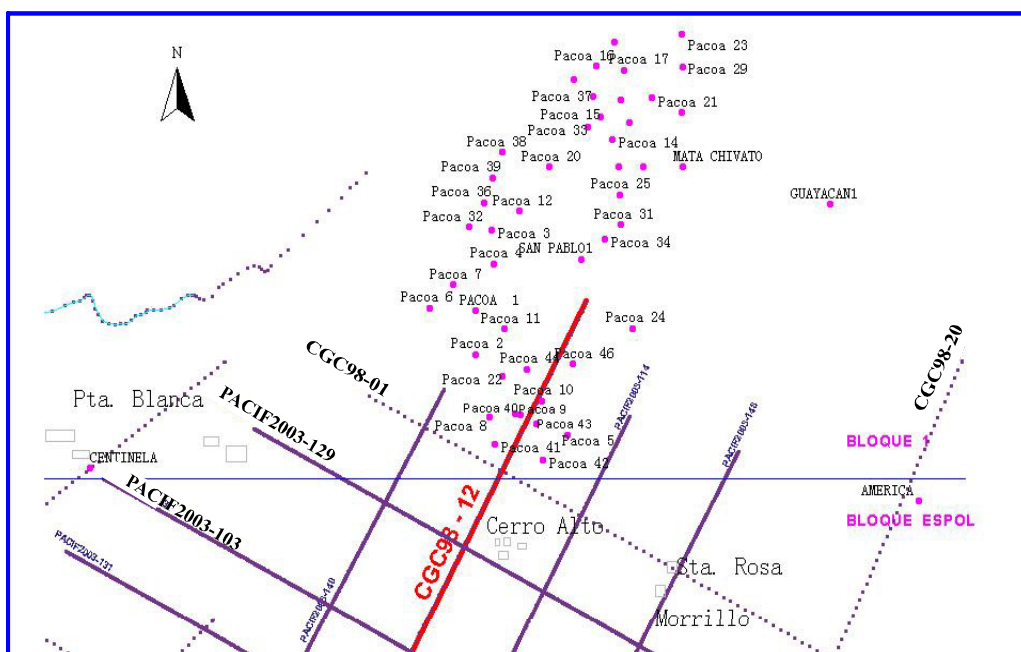


Figura 5.1.- Pozos cercanos al área de estudio.

La línea CGC98-12 permitirá enlazar información del Campo Pacoa hacia el nuevo campo San Vicente. En la Fig. 5.2 se presenta el resultado de este traslado de topes a lo largo de la línea mencionada. El pozo más cercano a la línea CGC98-12 es Pacoa 10 que se encuentra a tan sólo 40 m de distancia, lo que permite que su proyección hacia la línea sea confiable.

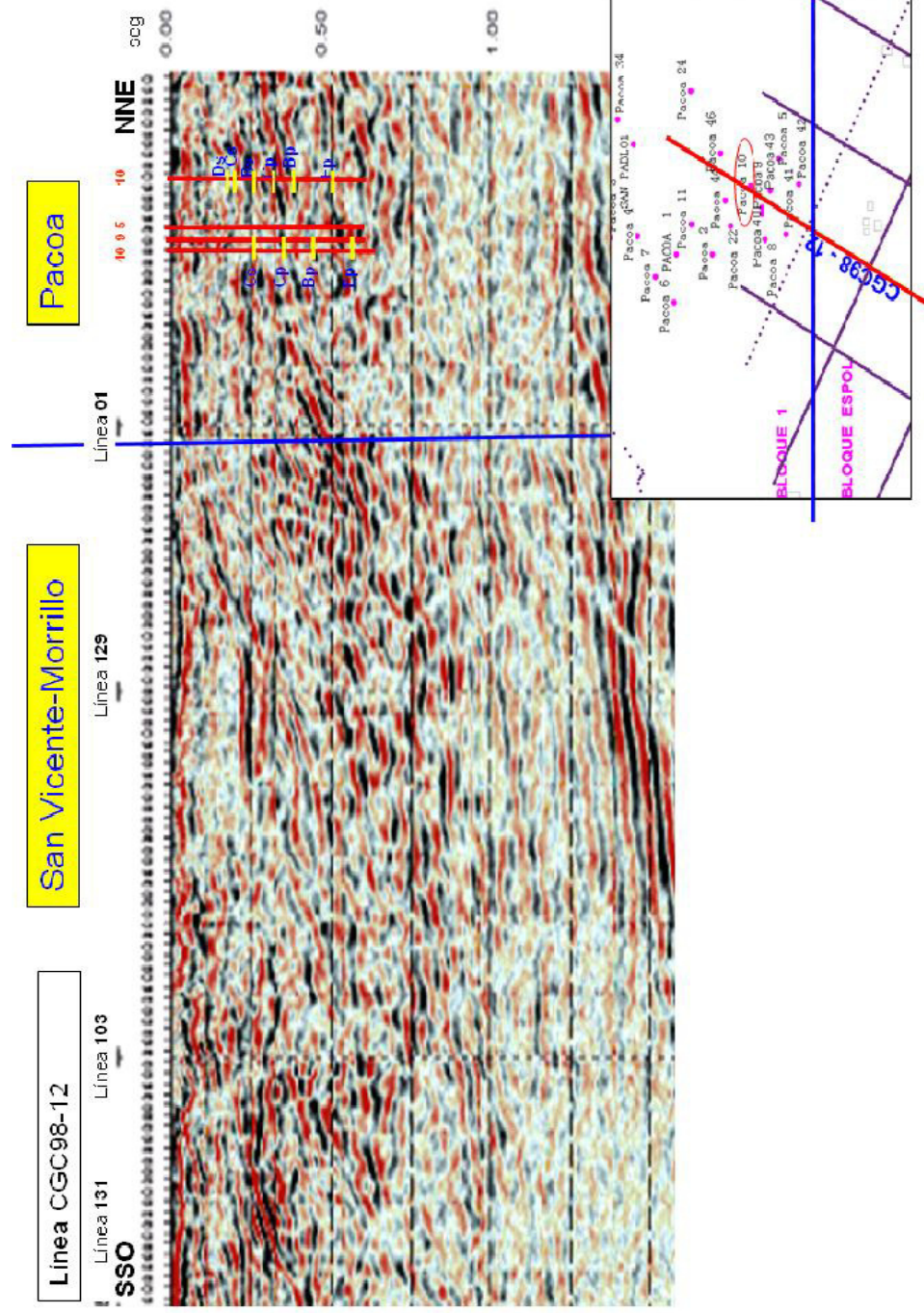


Figura 5.2.- Traslado de la información del campo Pacoa al área San Vicente-Morrillo.

Tabla VI.- Pozos escogidos para la interpretación.

LINEA	POZOS	DISTANCIA (m)	ESTACA(m)
CGC9812	Pacoa 9	105	2950
	Pacoa 10	40	2975,5
	Pacoa 40	171	2946,5
	Pacoa 41	220	2905
	Pacoa 43	115	2949,5
CGC9801	Pacoa 42	349	1221,5
PACIF2003-103	Centinela	196	1150
CGC98-20	América	195	3332

Los pozos Pacoa fueron perforados hasta alcanzar niveles del Eoceno medio. Los pozos exploratorios utilizados en esta interpretación son: Centinela y América, perforados por ANGLO en 1953 y 1958 respectivamente y reinterpretados por Canada Grande (1999); éstos alcanzaron niveles del Cretáceo. Se incorporaron los topes formacionales (en tiempo) del pozo Centinela a la línea PACIF2003-103, y del pozo América a la línea CGC98-20.

No se incorporaron a la línea CGC98-12, pozos exploratorios del Campo Pacoa como Pacoa 1X, San Pablo y La Mata Chivato, pues se encuentran alejados de la línea a 1.220 m, 700 m y 1.900 m respectivamente, distancias que afectan la extrapolación del reflector.

En general existe una muy buena correspondencia entre los horizontes reflectores de las secciones sísmicas y los respectivos topes formacionales (en tiempo) de los pozos utilizados.

En la Tabla VII, consta la información de los pozos utilizados en la interpretación obtenida de Canada Grande (1999), con los respectivos topes (en profundidad y tiempo) de los niveles productores D, C, B y E de la formación Socorro del campo Pacoa, interpretados en algunos casos como repeticiones tectónicas por sobrecorrimiento. También se detallan las elevaciones de las mesas rotarias (elevación de la M.R.), profundidad bajo la mesa rotaria (PBMR) y la profundidad bajo el nivel del mar (PBNM).

Tabla VII.- Topes de niveles productores de los pozos usados en la interpretación (Canada Grande, 1999).

POZO	Sección Tectónica	Elevación M.R.	D			C			B			E		
			PBMR	PBNM	Tiempo	PBMR	PBNM	Tiempo	PBMR	PBNM	Tiempo	PBMR	PBNM	Tiempo
Pacoa 9	Superior Principal	51	1016	-965	289				1452	-1401	397	1830 2440	-1779 -2389	489 641
Pacoa 10	Superior Principal	48	752	-704	224	870 1364	-822 -1316	253 377	992 1617	-944 -1569	280 437	2055	-2007	547
Pacoa 40	Superior Principal	40				978 1600	-938 -1560	293 435	1176 1834	-1136 -1794	334 492	1373 2475	-1343 -2435	384 650
Pacoa 41	Superior Principal	30	1423	-1393	396				2361	-2331	627	3035	-3005	789
Pacoa 42	Superior Principal	40	1222	-1182	334	1528	-1488	417	1951	-1911	508	2436	-2396	643
Pacoa 43	Superior Principal	38	882	-842	258	974 1384	-936 -1346	292 384	1641	-1603	446	2178	-2140	581

PBMR.- Profundidad bajo la Mesa Rotaria (pies)

PBNM.- Profundidad bajo el Nivel del Mar (pies)

Tiempo.- Tiempo doble de reflexión sísmica (milisegundos)

5.2 Interpretación

La ausencia de pozos en el área de estudio y la pobre definición de los reflectores en las líneas del área San Vicente-Morrillo, limitan a seguir el modelo estructural de Pacoa, propuesto por Canada Grande (1999). Por esta razón, en esta primera parte de la interpretación, el rayado de las líneas sísmicas permitió identificar el arreglo de facies de las secuencias del Terciario y del Cretáceo.

5.2.1 Picado de las facies sísmicas y definición de fallas.

Teniendo como antecedente que el Grupo Azúcar no se encuentra en la columna estratigráfica (subsuelo) del campo Pacoa y que por ende tampoco se encuentra en el área San Vicente-Morrillo, en las secciones sísmicas se identificaron solamente facies del Grupo Ancón y del Cretáceo, las cuales se pueden observar en la columna litológica del pozo Centinela (Fig. 5.3). Las formaciones del Grupo Ancón son: Punta Ancón, Seca, Socorro y Clay Pebble Beds (CPB) y las formaciones del Cretáceo son: Santa Elena/"Rosario" y Cayo.

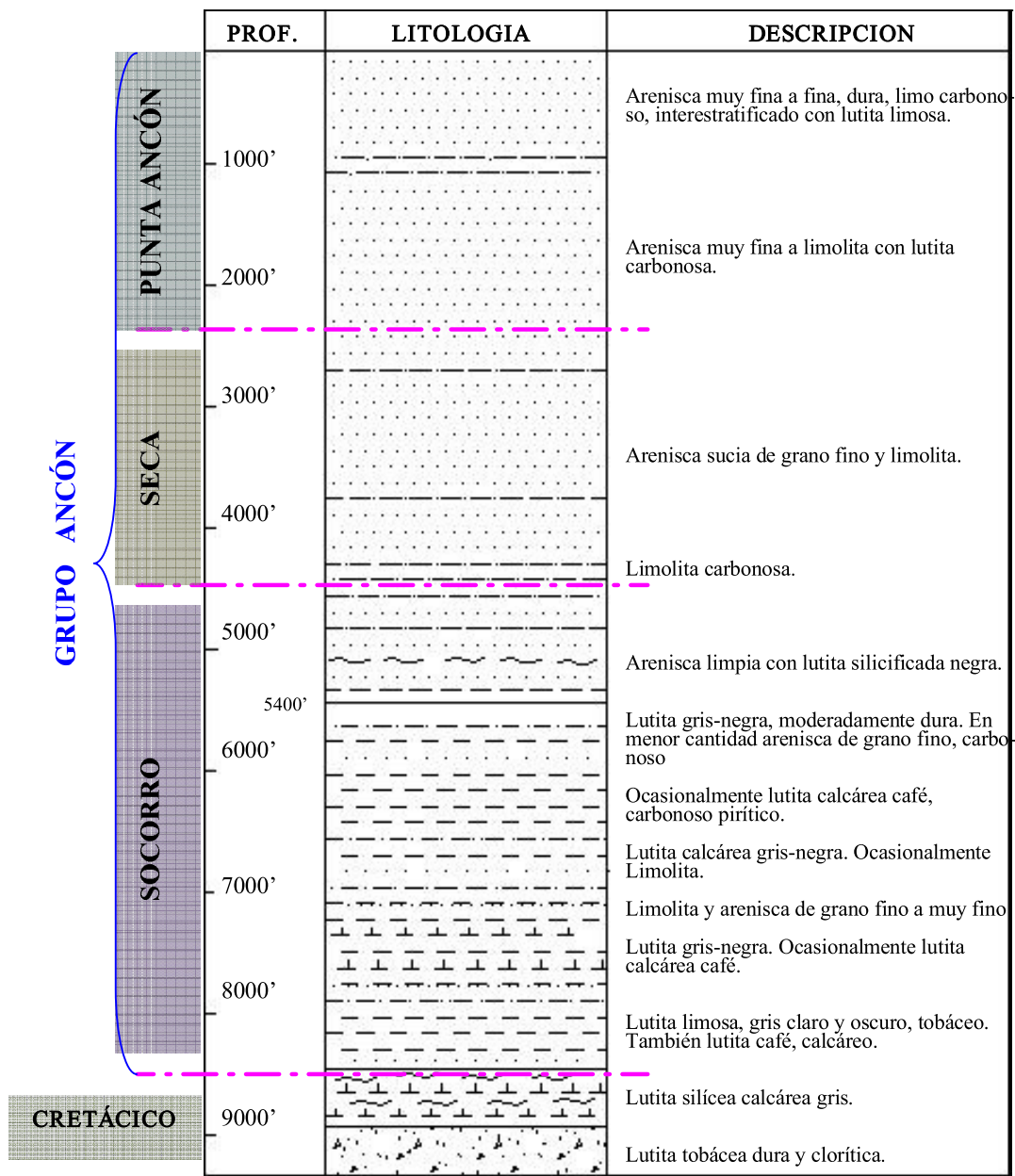


Figura 5.3.- Columna litológica del POZO CENTINELA (Canada Grande, 1999)

El picado de los topes y por ende la identificación de las secuencias se inició con la intersección de las líneas CGC98-12 y PACIF2003-103 (Fig. 5.4). El pozo Pacoa 10 ubicado en la línea CGC98-12, junto con el pozo Centinela en la línea PACIF2003-103, ayudaron a identificar el espesor total de cada una de las secuencias anteriormente mencionadas y correlacionar los topes lateralmente en todas las secciones de las líneas sísmicas.

Como se estableció en la descripción de la estratigrafía del campo Pacoa (cap. 2, sección 2.2.2), la “formación Rosario” que constituye la zona meteorizada de la formación Santa Elena, es además uno de los principales prospectos hidrocarburíferos del campo Pacoa, habiéndose encontrado cantidades comerciales de crudo en los pozos Pacoa 1, La Mata Chivato, Pechiche, Palo Santo y Guayacán; esto no ha ocurrido en los pozos San Pablo y Salinas Norte debido a la ausencia de la “formación Rosario”, y en lugar de ella se ha encontrado la formación Santa Elena. En la Tabla VIII se muestran los pozos exploratorios del Bloque 1 que han alcanzado el Cretáceo.

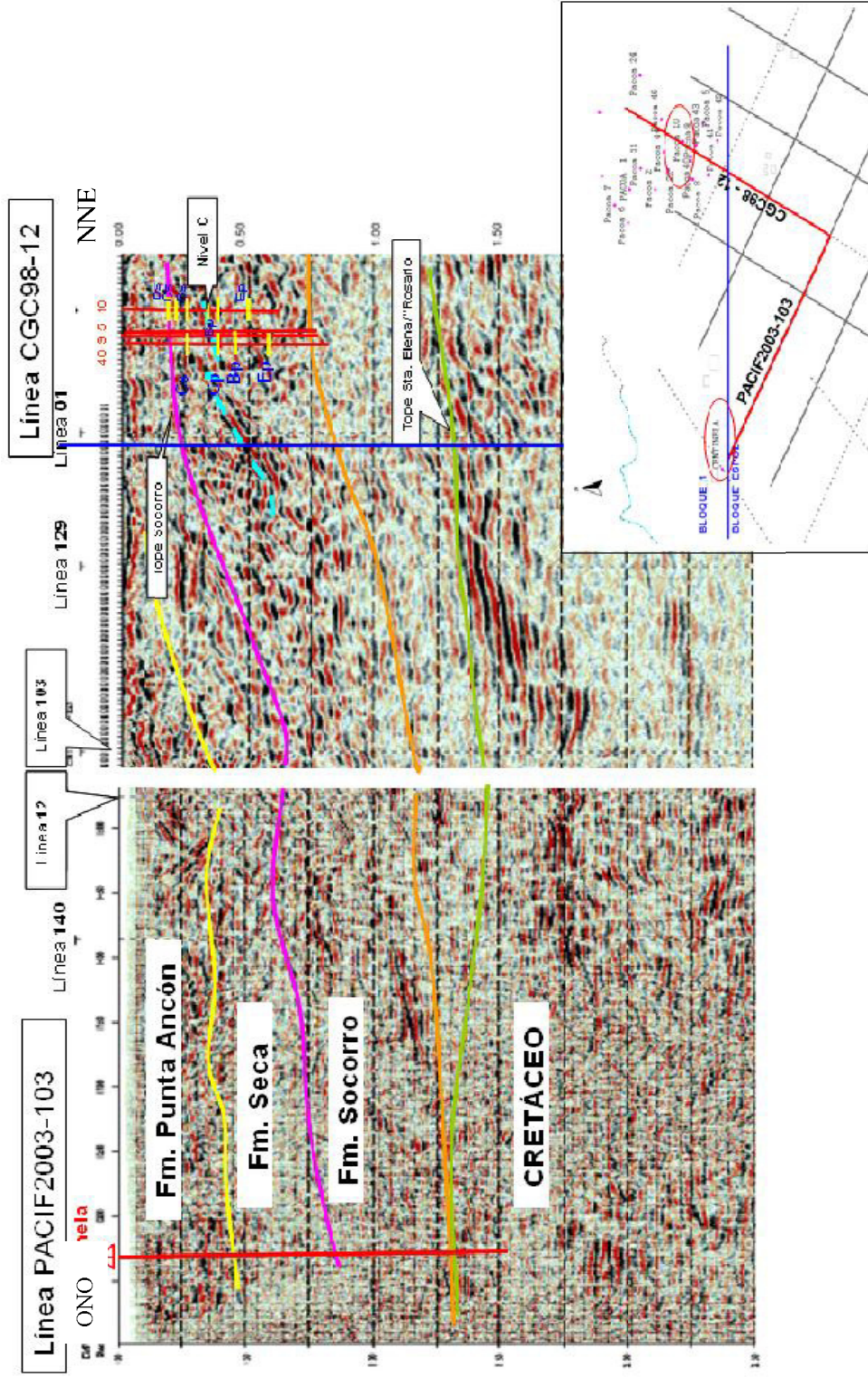


Figura 5.4.- Intersección de las líneas PACIF2003-103 y CGC98-12.

Tabla VIII.- Intervalo de las formaciones de los pozos exploratorios del campo Pacoa (Canada Grande, 1999)

Pozo	Formación	Tiempo doble (ms)		Prof (pies)	
		Tope	Base	Tope	Base
Pacoa 1	Cayo	1.454	TD	6.030	TD
	Rosario	1.405	1.454	5.720	6.030
	Gr. Ancón	0	1.405	tope	5.720
San Pablo	Cayo	1.292	TD	5.405	TD
	Sta. Elena	1.258	1.292	5.070	5.405
	Gr. Ancón	0	1.258	tope	5.070
La Mata Chivato	Cayo	-	-	-	-
	Rosario	1.378	-	5.845	TD
	Gr. Ancón	0	1.378	tope	5.845
Pechiche	Cayo	-	-	-	-
	Rosario	1.062	TD	4.110	TD
	Gr. Ancón	0	1.062	tope	2.825
Palo Santo	Cayo	-	-	-	-
	Rosario	760	TD	2.780	TD
	Gr. Ancón	0	760	tope	2.780
Aragón 2	Cayo	-	-	-	-
	Gr. Ancón	0	806	tope	2.900
Guayacán	Cayo	1.515	TD	6.709	TD
	Rosario	1.507	1.515	6.650	6.709
	Gr. Ancón	0	1.507	tope	6.650
Cantinela	Cayo	-	-	-	-
	Rosario	1357	TD	8.260	TD
	Gr. Ancón	0	1357	tope	8.260

TD: Total depth

Por lo tanto, identificar la “formación Rosario” sería uno de los objetivos de esta interpretación, pero surge el problema de definir en las secciones cuál es la formación Santa Elena o cuál es la “formación Rosario”. En las líneas sísmicas sólo es posible identificar el contacto o discordancia que existe entre el Cretáceo y el Terciario ya que el contraste de litologías es evidente; a esta discordancia se la identificó como el tope de la formación Santa Elena/Rosario.

Para el picado del tope del Cretáceo ayudaron las líneas interpretadas del campo Pacoa; estas son: GS-12 (Fig. 5.5) y B90-26 (Fig. 5.6). En la línea GS-12, está ubicado el pozo exploratorio Pacoa-1, indicando el tope de la “formación Rosario” a 1.405 ms y a 1.454 ms el tope de la formación Cayo. La línea GS-12 intercepta la “formación Rosario” con la línea CGC98-12 a 1250 ms. En la línea B90-26, está ubicado el pozo exploratorio San Pablo indicando el tope la formación Santa Elena a 1.258 ms y a 1.292 ms el tope de la formación Cayo. La línea B90-26 intercepta la formación Santa Elena con la línea PACIF2003-148 a 1.000 ms.

Para el picado del tope de la formación Seca, y por ende de la base de la formación Punta Ancón, se contó con la topografía proporcionada por la compañía GEOSIMA y con el mapa de afloramientos de la compañía ANGLO (1960). Este mapa también ayudó a localizar en superficie el contacto de las napas “Wildflych de Santa Elena” y Grupo Azúcar que cabalgan sobre la formación Socorro (Ver en ANEXO B la interpretación de las líneas impares).

En general, el picado de los topos formacionales ha provocado ciertas confusiones, debido a la intensa deformación tectónica que soportan los depósitos de margen activo, lo que, sumado la

ausencia de pozos en el área de estudio, limita una identificación definitiva.

Al mismo tiempo que se realiza el picado de los topes de las formaciones se definen las fallas; algunas son subverticales y otras con inclinaciones de 45° , las cuales se extienden desde niveles del Cretáceo hasta niveles del Terciario formando en algunos casos estructuras en flor positiva. Las fallas pudieron estar activas durante la depositación; a este mecanismo se denomina deformación symsedimentaria. La inclinación de ciertas fallas produce difracciones en los reflectores, tal como se puede apreciar en una de las líneas, PACIF2003-129, lo que hace difícil trazar el reflector verdadero.

Línea GS-12 del campo Pacoa

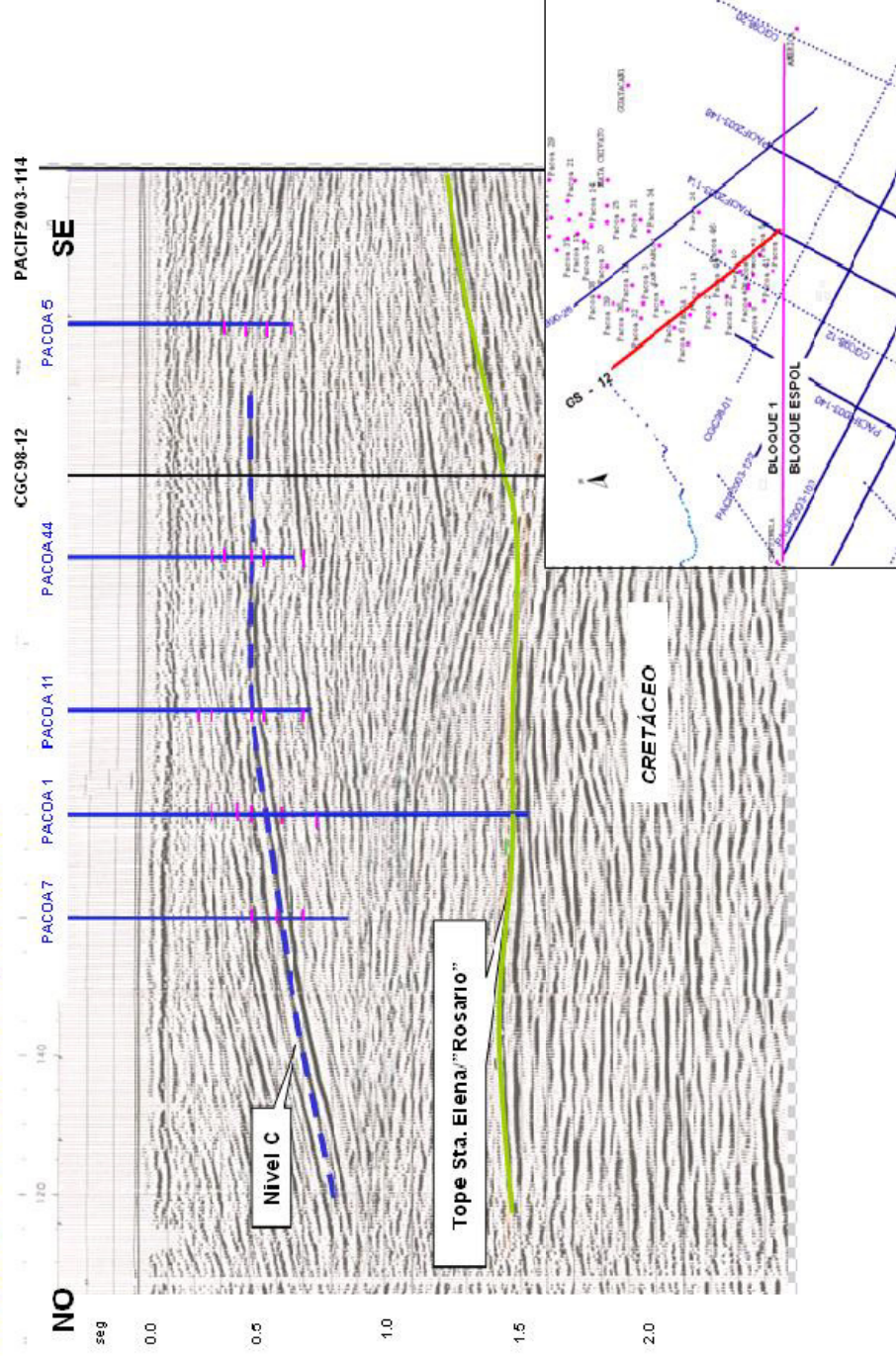


Figura 5.5.- Línea sísmica GS-12 interpretada por Canada Grande (1999)

Línea B90-26 del campo Pacoa

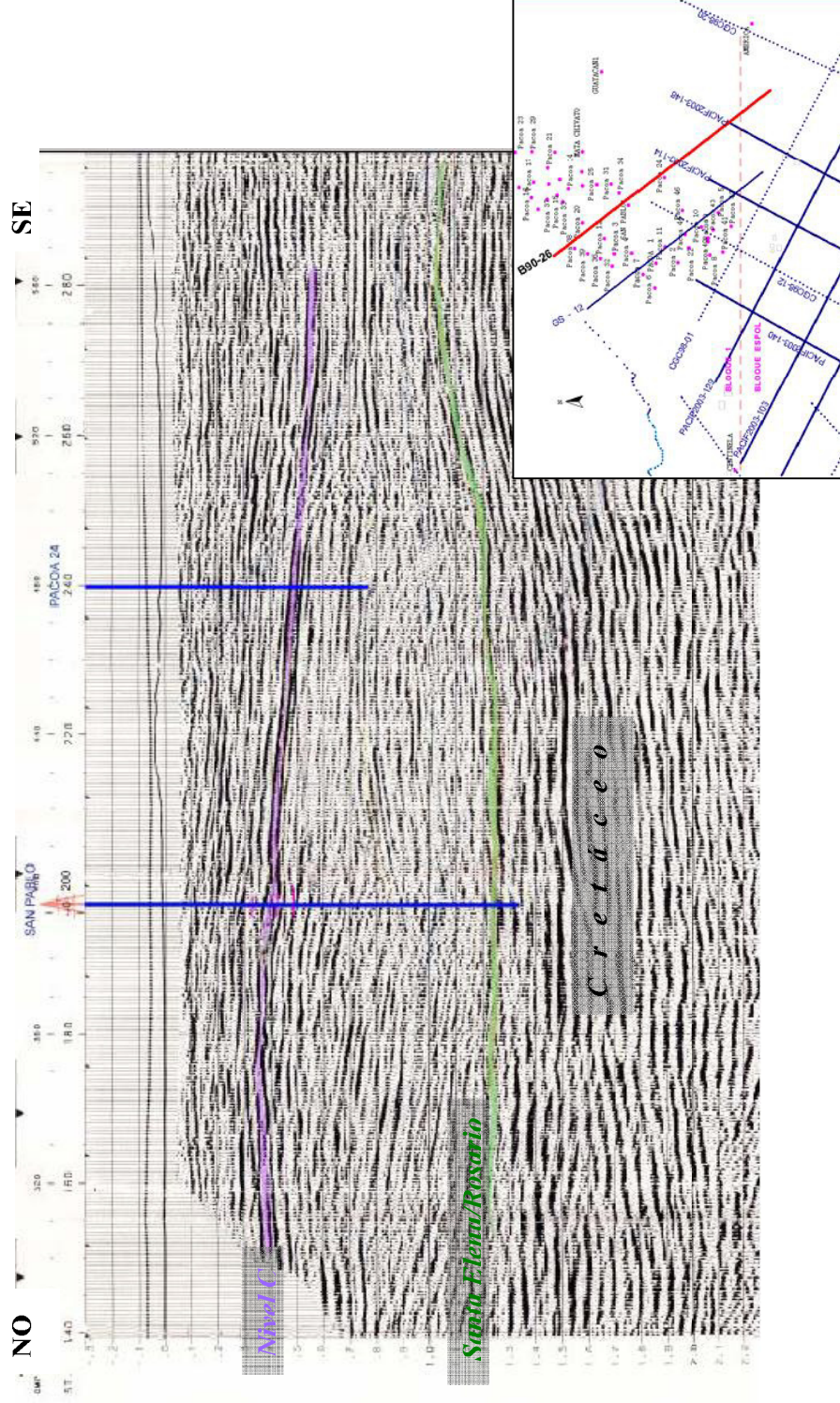


Figura 5.6.- Línea sísmica B90-26, interpretada por Canada Grande (1999).

5.2.2 Breve descripción de la evolución sedimentaria de las secuencias.

A continuación se hará una descripción breve de la evolución sedimentaria de las secuencias que se presentan en el campo San Vicente.

La existencia de una paleo-pendiente o paleo-talud continental fue determinada en el campo Pacoa mediante estudios de Paleontología, Bioestratigrafía y Paleo-ecología, extendiéndose este paleo-talud por toda el área San Vicente-Morrillo. El tope de la formación Santa Elena/"Rosario" localmente representa la paleo-plataforma/talud (Ver Fig. 5.7), como se demuestra en las líneas pares 140, 12, 114, 148/16 y 20 (ANEXO C), la misma que profundiza desde el centro hacia el Suroeste del área de tesis.

Si bien se identificó el tope de la formación Santa Elena/"Rosario", otro problema que surgió fue la diferenciación de la formación Cayo. Los argentinos Patricio Malone y Fernando Fantin realizaron un estudio sismo-estratigráfico de las líneas de la campaña sísmica 1998 del campo Ancón (Bloque ESPOL) y describieron la diferencia sísmica de dos secuencias en forma de cuña. La secuencia inferior asignada a la formación Cayo,

presenta reflectores bien definidos, continuos, de alta amplitud y muestran una relación de *onlap* respecto al basamento. En la línea CGC98-20 que ingresa al área San Vicente-Morrillo los autores describen una secuencia superior atribuible a la formación Santa Elena que se apoya en una aparente discordancia sobre la secuencia inferior y se caracteriza por presentar facies sísmicas caóticas y con algunos reflectores que presentan una relación de *downlap* progradacional en la base, acuñándose hacia los altos del basamento. Sin embargo esta división de secuencias cretácicas no fue posible identificar en este estudio.

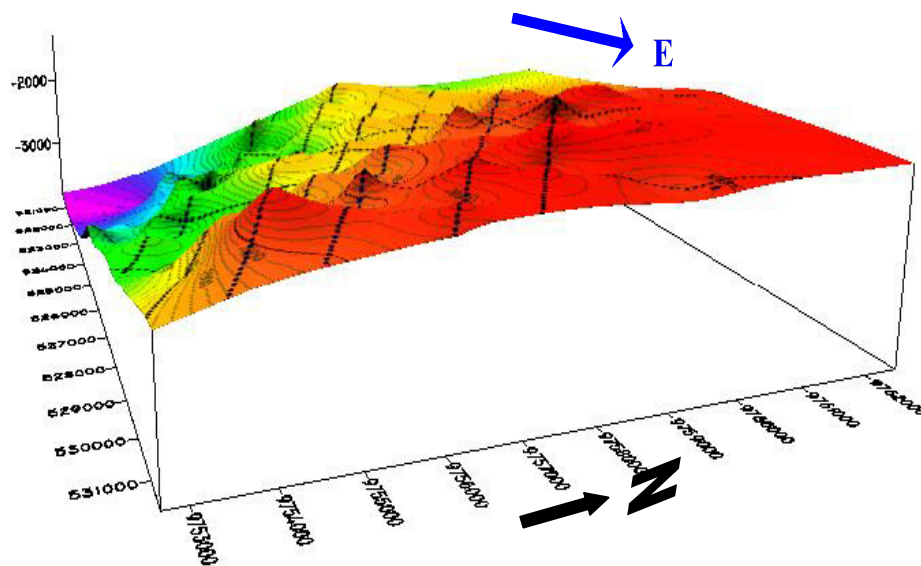


Figura 5.7.- Paleo plataforma/talud formado por el tope de la formación Santa Elena/"Rosario". Las Líneas punteadas representan la proyección vertical de las líneas sísmicas.

Cabe destacar que la identificación del tope del Cretáceo (tope Santa Elena/Rosario), fue más o menos fácil por el contraste de su litología con la formación CPB.

La zona de paleo talud provee el mecanismo adecuado para el desarrollo de las turbiditas (Grupo Ancón) y sobrecorrimientos en dirección del talud. A continuación se hace una breve descripción de cada una de las secuencias del Grupo Ancón.

La formación Clay Pebble Beds (CPB) fue fácil de identificar y correlacionar a través de todas las líneas sísmicas la debido a la marcada discordancia con el Cretáceo subyacente. La formación CPB tiene una edad Eoceno Medio inferior, por lo que se concluye que existe un marcado *hiatus* de edad Paleoceno. Se puede suponer que la sedimentación se interrumpió unos diez millones de años o, lo más probable que los depósitos pertenecientes al Paleoceno (Grupo Azúcar) no se deslizaron en esta cuenca, pero sí en la cuenca del campo Ancón.

Los reflectores de CPB se caracterizan por ser más o menos continuos, de baja amplitud, representando la estratificación de lutitas y limolitas. Esta secuencia se depositó sobre el talud

continental, acuñaándose en dirección de la plataforma (al Este del área de estudio), llegando a tener un espesor de hasta 650 m. También se acuña hacia el Oeste, rellenando la cuenca intra-talud; esto se puede apreciar en las secciones de las líneas impares (ANEXO B). De lo anterior se puede concluir que el aporte sedimentario proviene desde el Norte y Este hacia el Sur y Oeste del campo San Vicente.

La formación CPB presenta facies de *onlap* en la plataforma y *downlap* en el talud. La configuración de los reflectores representa la existencia de talud progradacional sigmoidal (Fig. 5.8), y sugiere un ambiente de baja energía de depositación (Mitchum Jr. et al., 1977).

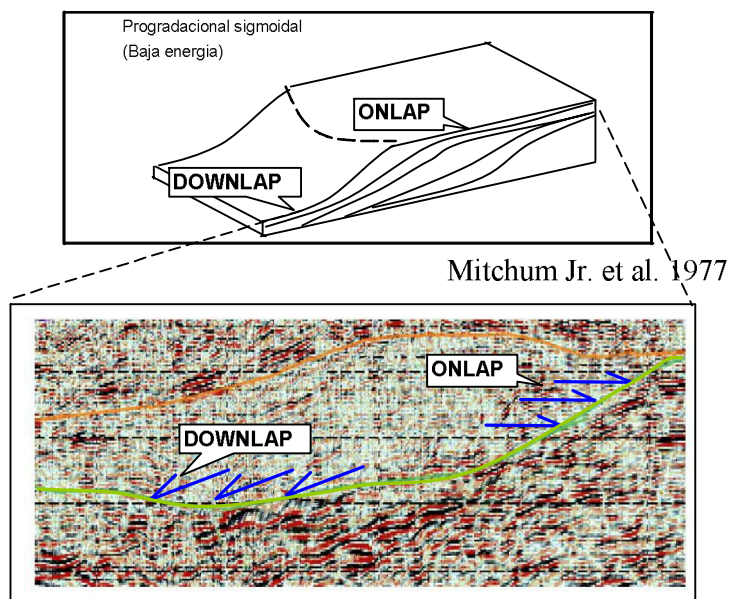


Figura 5.8.- Facies sísmicas de margen de plataforma/talud progradante.

El alto estructural de la formación Socorro fue más o menos fácil de correlacionar, pues los reflectores son continuos, de amplitud media a alta, caracterizando a la interestratificación de areniscas y arcillolitas turbidíticas tobáceas. Fue fácil diferenciar la formación Socorro de la CPB por el buen contraste de impedancias, el primero por tener reflectores de gran amplitud (en la base de la Fm. Socorro) y el segundo por tener reflectores de baja amplitud. La formación Socorro profundiza hacia el Suroeste del área de estudio, donde los reflectores son discontinuos, de amplitud baja o a veces desaparecen, lo que hizo difícil su trazado. Las variaciones de los reflectores en los bajos estructurales pueden ser ocasionadas por pérdida de energía sísmica, por la presencia de fallas o por cambios de facies. En este caso, la existencia de fallas es la causa más probable, debido al fuerte tectonismo que sufre la cuenca. El espesor total de la formación Socorro es de aproximadamente 600 metros, manteniéndose casi uniforme en profundidad y adelgazando hacia lo que constituye la plataforma.

El reflector del nivel arenoso "C" de la formación Socorro, horizonte de gran interés hidrocarburífero en el campo Pacoa, tiene una buena continuidad y representa el reflector más fuerte,

con respecto a los otros niveles productores (D, B y E) del campo Pacoa.

La formación Seca, presenta facies de truncamiento erosivo cuando los reflectores se acercan a la superficie. Los reflectores son de amplitud media a alta y continuos, representando litológicamente a las arcillolitas tobáceas. En presencia de fallas los reflectores se vuelven discontinuos y caóticos, por lo que el trazado del tope de esta formación en profundidad (sur-oeste del área de estudio) no es tan claro. Así como CPB, Seca también se acuña hacia el lado Este del área de estudio llegando a tener un espesor de hasta 350 m; el espesor aumenta en los bajos estructurales de la formación Socorro (CGC98-16) (Sur y Suroeste del área de estudio). Esta formación sobreyace en discordancia a la formación Socorro.

Finalmente, en la formación Punta Ancón los reflectores casi no varían en profundidad, y se caracterizan por ser discontinuos y de alta amplitud representando las areniscas tobáceas de grano grueso. La marcada amplitud de los reflectores, representa ambientes extensos y uniformes. Esta formación sobreyace en discordancia a la formación Seca.

En resumen, la alta amplitud y continuidad de los reflectores de las formaciones del Grupo Ancón son características de depósitos de ambientes de talud/plataforma externa. En la plataforma (Norte y Este del área de estudio) se creó el anticlinal formado por el Grupo Ancón (Ver Fig. 5.9), visto claramente en las líneas impares 01, 129 y 103, siendo los reflectores continuos y de alta amplitud, que caracterizan ambientes extensos y uniformes. En el talud (Suroeste del área de estudio) los reflectores de este Grupo se vuelven discontinuos hasta a veces caóticos, características de depósitos de ambiente de mayor energía; esto se puede observar en las 3 últimas líneas impares; estas son: 131, 05 y 133 que no muestran el anticlinal formado por las líneas 01, 129 y 103, sino que representan la base de un alto estructural u otro tipo de depositación.

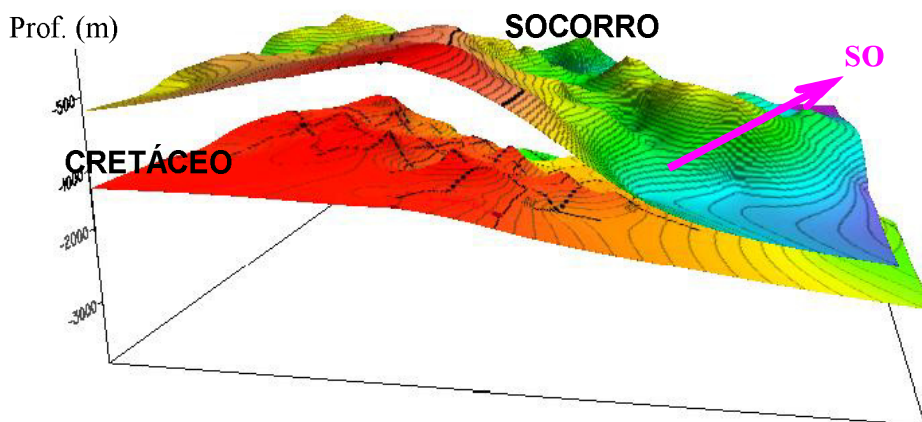


Figura 5.9.- El anticlinal del tope de Socorro (Grupo Ancón) sobre la extensa plataforma del Cretáceo.

5.2.3 Mapas estructurales en tiempo del tope de las formaciones: Socorro, Santa Elena/"Rosario" y Nivel C (Fm. Socorro).

Después del picado de los reflectores en las 12 líneas sísmicas del área San Vicente-Morrillo, se interpolaron los valores en tiempo para los tope de las formaciones con el fin de generar una superficie. Se escogieron solamente los topes de las formaciones Socorro y Santa Elena/Rosario por ser prospectos de interés comercial en el campo Pacoa. De la formación Socorro se definió específicamente el nivel C, por ser el horizonte que ha producido más petróleo en el campo Pacoa.

Para generar la superficie en tiempo de los topes de las formaciones se creó una base de datos de tres columnas: en la primera se colocan las coordenadas x ; en la segunda las coordenadas y ; en la tercera, los valores en tiempo (obtenidos del picado) en ms con sus respectivas estacas. Se tomó lectura de los tiempos cada 50 m (5 estacas) y se interpoló en el software Surfer versión 8. Los mapas estructurales en tiempo de Socorro y del Cretáceo se graficaron a escala 1:75.000 y del nivel C a escala 1:50.000.

Mapa Estructural en tiempo del tope de la Fm. Socorro (ANEXO

D).- El tope de la formación Socorro forma parte de un anticlinal que ocupa casi la quinta parte del área de tesis, ubicándose hacia el Noreste del área de estudio. Dentro del campo San Vicente este anticlinal tiene su cúspide en 250 ms y va profundizando hacia los flancos hasta 425 ms donde termina la formación del anticlinal. Hacia el Suroeste, el tope de la Fm. Socorro tiene su posición estructural más baja a 1.150 ms.

Mapa Estructural en tiempo del tope de la Fm Santa Elena/

“Rosario” (ANEXO E).- Para interpolar este horizonte reflector, se contó con los valores obtenidos del picado y adicionalmente, con

los topes formacionales (en tiempo) de este horizonte en los pozos Centinela, Pacoa 1 y San Pablo. El mapa estructural en tiempo representa muy bien la paleo plataforma/talud que existe en el área San Vicente-Morrillo (Ver Fig.5.7). La plataforma varía desde 900 a 1.400 ms y se ubica hacia el Norte y Este del área de estudio. Hacia el Suroeste, el tope de la Fm. Santa Elena/Rosario tiene su posición estructural más baja a 2.100 ms.

Mapa Estructural en tiempo del Nivel C (Fm. Socorro) (ANEXO F).

El reflector del nivel C (Fm. Socorro) fue difícil de seguir a lo largo de todas las líneas, debido al complejo sistema de fallamiento que existe en la zona; por esta razón, sólo se rayaron las líneas impares 01, 129 y 103 y parte de las líneas pares 140, 112, 114 y 148 correspondientes a las últimas estacas.

Para la interpolación del nivel C se consideraron los valores obtenidos del picado de las líneas y los topes formacionales (en tiempo) de los pozos del campo Pacoa que alcanzaron este nivel.

El nivel C sigue en dirección paralela al tope de la Fm. Socorro, formando un anticlinal cuya dirección de eje hacia el campo Pacoa es Nor-Noroeste. Como se ve en el mapa (ANEXO F), la mayor

parte del anticlinal se encuentra en el campo Pacoa. Dentro del campo San Vicente la posición estructural más alta se ubica a 425 ms en el límite entre los bloques 1 y ESPOL. Este anticlinal profundiza hacia el flanco oriental llegando a 800 ms.

5.2.4 Mapas estructurales en profundidad del tope de las formaciones: Socorro, Santa Elena/"Rosario" y Nivel C (Fm. Socorro)

Para convertir el tiempo en profundidad se utilizaron los cuadros de velocidades de apilamiento (stack velocities) obtenidos en el procesamiento de datos sísmicos en los que constan: tiempo doble, velocidades RMS (root mean square) y velocidades interválicas. Se usaron los cuadros de análisis de velocidad de las secciones migradas (1998) y no migradas (2003). Los cuadros de análisis de velocidad están basados en las ecuaciones de Dix (1955):

$$V_n^2 = \frac{V_{rms_n}^2 t_{0_n} - V_{rms_{n-1}}^2 t_{0_{n-1}}}{t_{0_n} - t_{0_{n-1}}} \quad h_n = V_n \left(\frac{t_{0_n} - t_{0_{n-1}}}{2} \right)$$

Donde:

V_n = velocidad intervalica de la n -ésima estaca.

V_{rms} = velocidad root mean square.

t_{0n} = tiempo doble de la n -ésima estaca.

h_n = profundidad de la n -ésima estaca.

Para construir los mapas estructurales en profundidad se hizo una base de datos en la que constan las coordenadas (x, y) y profundidad (en metros). Los mapas estructurales en profundidad de Socorro y Nivel C se graficaron a una escala 1:50.000 y del Cretáceo a 1:75.000. Cabe mencionar que los mapas en profundidad mantienen cierta semejanza con los mapas en tiempo.

Mapa Estructural en profundidad del tope de la Fm. Socorro

(ANEXO G).- El anticlinal formado por la interpolación de los valores en profundidad no presenta diferencias respecto al mapa en tiempo. En el área San Vicente-Morrillo este anticlinal tiene un área aproximada de 5 Km² cuya longitud es de 3.000 m y ancho 1.700 m aproximadamente. Dentro del área San Vicente-Morrillo la posición estructural más alta está a 300 m bajo la superficie y va profundizando en ambos lados de los flancos hasta 500 metros donde termina la estructura del anticlinal. Hacia el Suroeste el tope de la Fm. Socorro tiene su posición estructural más baja a 1.425 m.

Las fallas A, B y C de la Fig. 5.10 constituyen fallas de desplazamiento de rumbo; B y C en dirección N75 actúan transversalmente a la estructura anticlinal (vista en planta) formado en el área de estudio, rasgando y triturando las rocas en su vecindad, las mismas que tienen terminaciones en “cola de caballo” (*horsetail splay*). El movimiento de las fallas de desplazamiento de rumbo, ha originado estructuras en flor positiva producto de los esfuerzos de compresión. La falla A de dirección N150 actúa en el campo Pacoa diagonal (vista en planta) a la estructura anticlinal y en el norte del área San Vicente-Morrillo termina en cola de caballo.

Hacia el Suroeste de la zona de estudio las fallas de desplazamiento de rumbo manifiestan estructuras en flor negativa (Fig. 5.11 A) y en flor positiva (Fig. 5.11 B), las primeras como producto de la acción de fuerzas de tensión y las segundas de compresión.

En la Fig. 5.12 se muestra el mapa estructural del tope de Socorro vista en 3D.

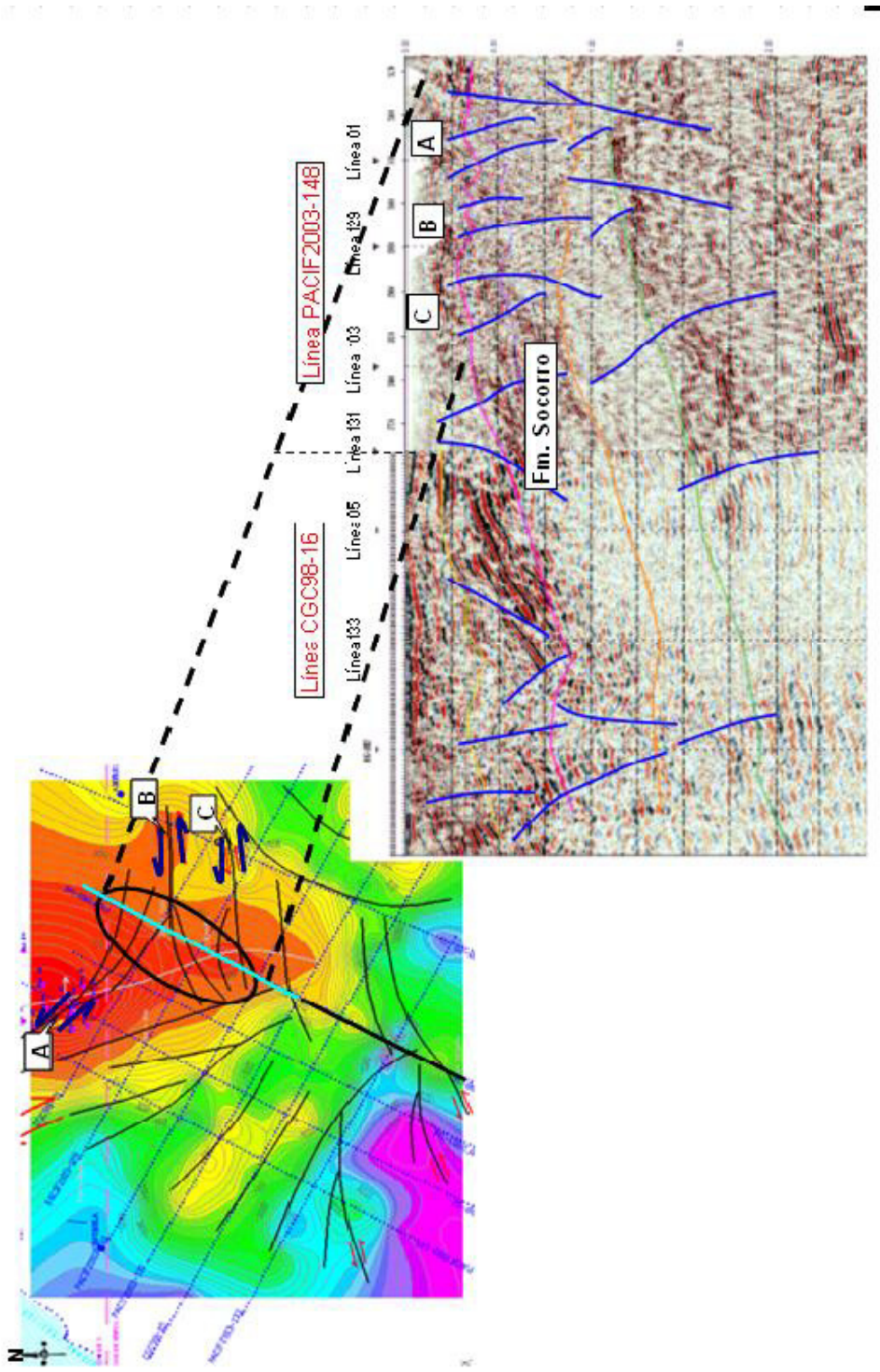


FIGURA 5.10.- Fallas A, B y C vistas en la línea sísmica PACIF2003-148.

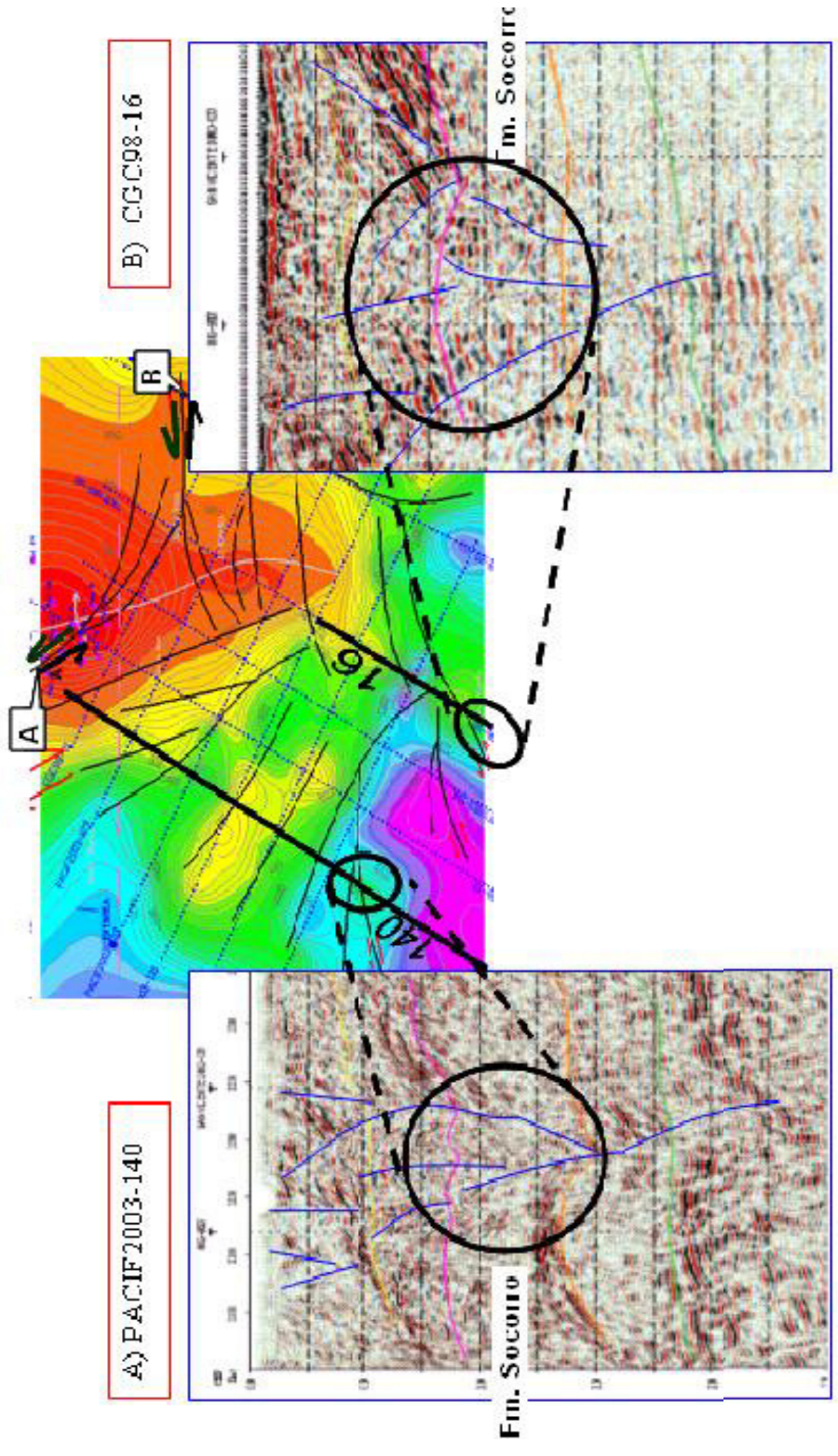


Figura 5.11.- Fallas de desplazamiento de rumbo. A) Flor negativa B) Flor positiva.

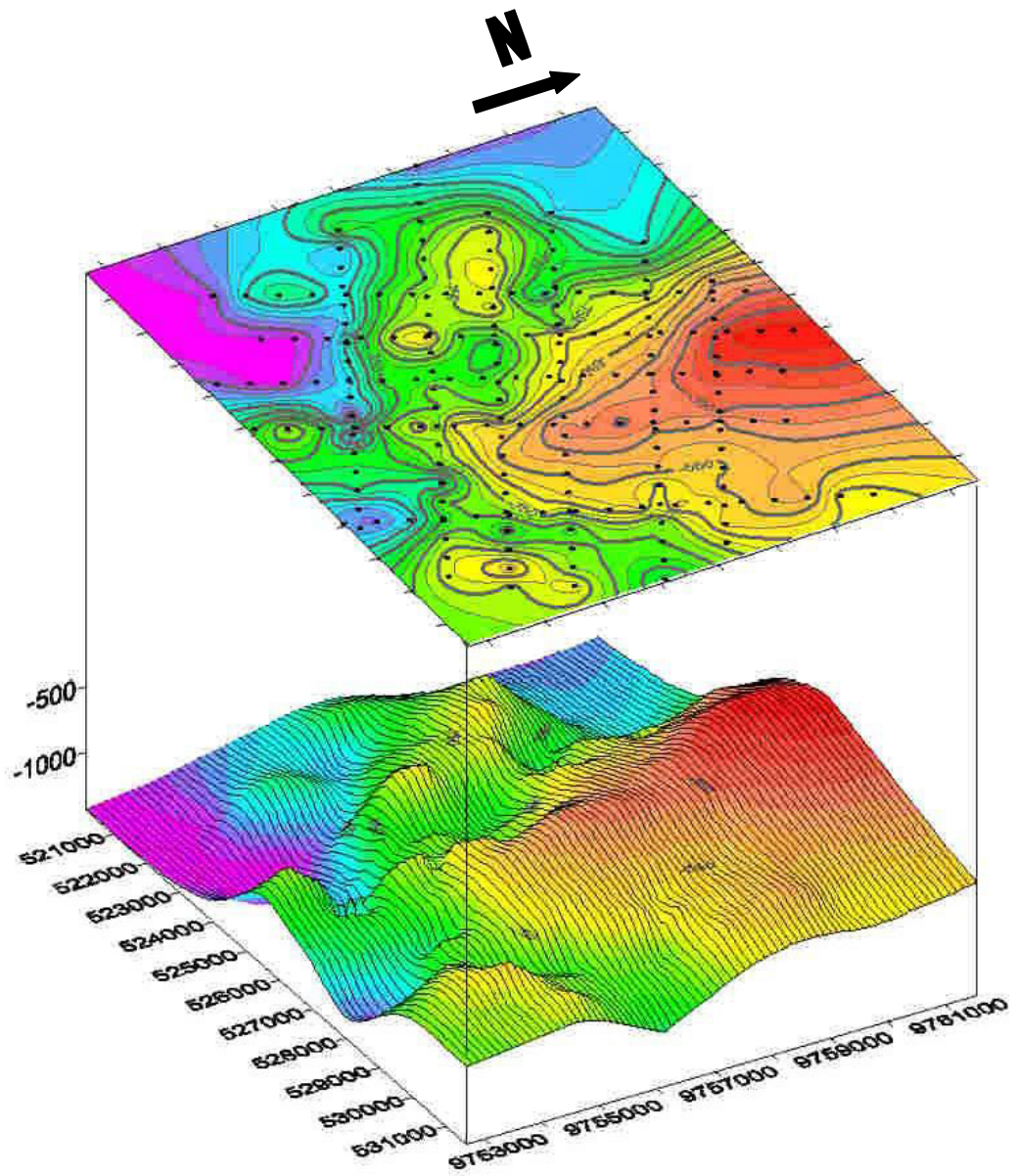


Figura 5.12.- Mapa estructural en profundidad y vista en 3D del tope de la formación Socorro.

Mapa Estructural en profundidad del tope de la Fm. Santa Elena/“Rosario” (ANEXO H).- Para interpolar este horizonte reflector se contó con los valores obtenidos del picado y además se contó con los topos formacionales (en profundidad) de este horizonte correspondientes a los pozos Centinela, Pacoa 1 y San Pablo. La plataforma aparece en este mapa más extensa en área que la plataforma representada en el mapa estructural en tiempo; esta variación es consecuencia de la aplicación del cálculo de velocidades. La plataforma representa la tercera parte del área de estudio.

La Plataforma se encuentra desde 1.200 a 2.200 m de profundidad y se ubica hacia el Norte y Este del área de estudio, profundizando hacia el Suroeste hasta llegar a una posición estructural más baja a 3.800m.

El fallamiento que domina en el Cretácico es de desplazamiento de rumbo, formando las fallas dos juegos orientados en dirección N165 y N15. Las primeras se encuentran hacia el Suroeste separando los bajos y altos estructurales; las segundas aproximadamente perpendiculares a las primeras fallas. En la Fig. 5.13 se muestra el mapa estructural del tope de Santa Elena/“Rosario” (tope del Cretáceo) visto en 3D.

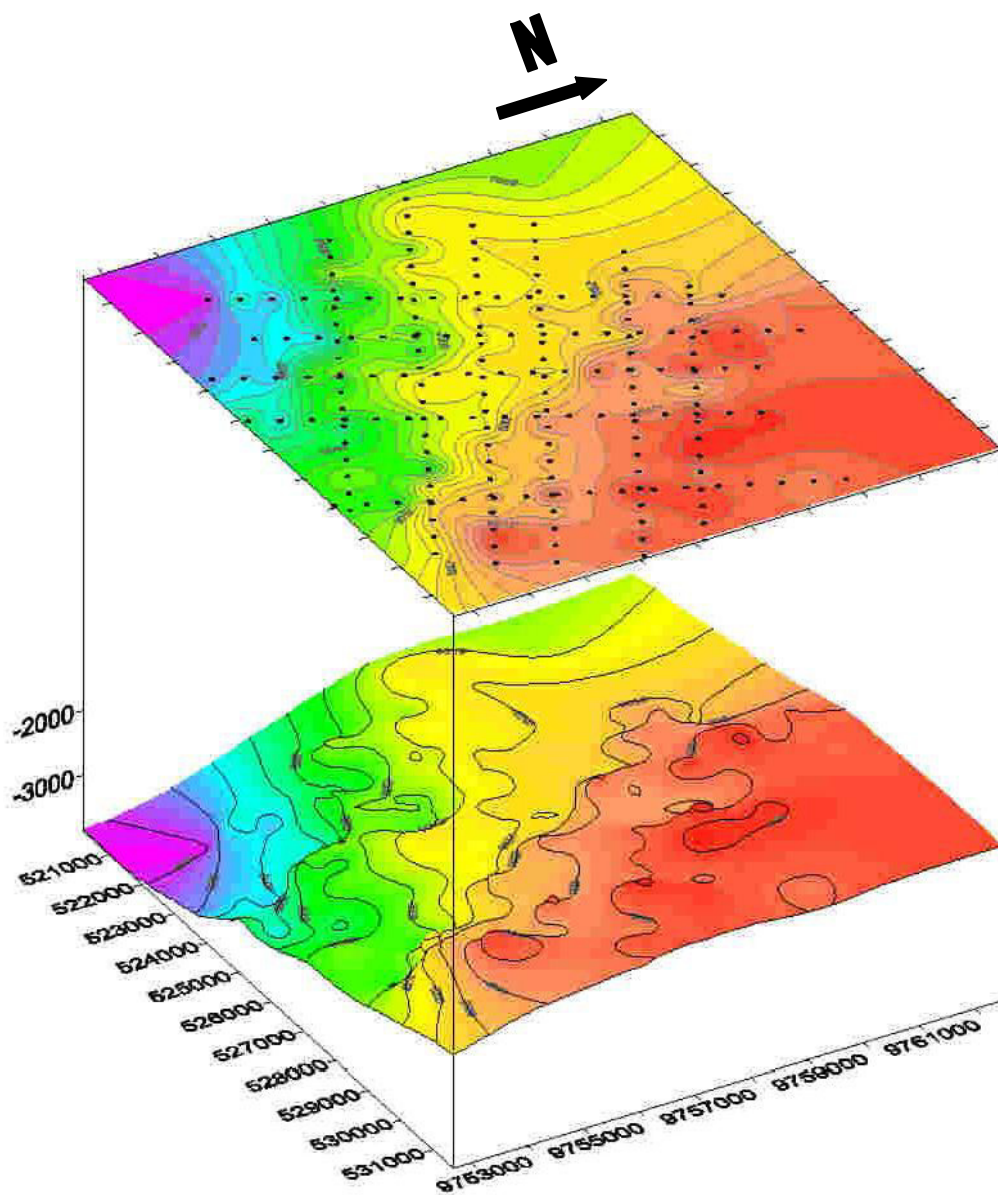


Figura 5.13.- Mapa estructural y vista en 3D del tope de la formación Santa Elena/"Rosario" (tope del Cretáceo).

Mapa Estructural en profundidad del tope del Nivel C (Fm. Socorro) (ANEXO I).-. El anticlinal formado por el Nivel C en el campo Pacoa está seccionado en dos bloques: Norte y Sur; la sección del bloque Norte tiene un eje de dirección NNE y la sección del Bloque Sur que se adentra por el norte del área de estudio tiene un eje de dirección NNO. La superposición del mapa del nivel C, interpretado por PETROPRODUCCIÓN (1991) y el mapa obtenido del picado, demuestra claramente que la dirección promedio que tiene el eje del anticlinal es N-S.

Hacia el área de estudio este nivel se extiende desde 500 m hasta 650 m de profundidad, de ahí se extiende otro ramal llegando hasta 850 m de profundidad (al sur) donde termina el anticlinal. Este anticlinal va profundizando hacia los dos flancos (Oeste y Este) con inclinación más aguda hacia el Oeste.

Las fallas tienen el mismo comportamiento que en el tope de la Formación Socorro.

5.3 Interpretación de acuerdo al modelo estructural de Pacoa propuesto por Canada Grande.

En la primera parte de la interpretación se correlacionaron todas las líneas sísmicas del área San Vicente-Morrillo de tal manera que se identificó la potencia total de cada una de las formaciones presentes en el subsuelo del área de estudio.

En la segunda parte de la interpretación se consideró el modelo estructural de Pacoa, para determinar el cierre estructural del nivel C; para esto fue de gran ayuda la línea sísmica GS-12 del campo Pacoa que intercepta a las líneas CGC98-12 y PACIF2003-114 del área San Vicente-Morrillo, determinándose que los reflectores del nivel C en el área de estudio no son tan fuertes como en el campo Pacoa.

Canada Grande (1999) interpreta la estructura Pacoa en tres secciones tectónicas, como se muestra en la Fig. 5.14, que se las ha denominado inferior, principal y superior; en otras palabras ellos consideran que la secuencia del Eoceno Medio se encuentra *repetida* tectónicamente por efecto de dos fallas importantes: el sobrecojamiento S1 que produce la repetición de las secciones inferior y principal y el sobrecojamiento S2 que separa las secciones principal y superior. La sección superior únicamente ocupa la parte Sur del campo y no se encuentra en el Norte.

Son 14 pozos ubicados en el bloque Sur (PAC-1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 22, 40, 41, 42, 43 y 44, Fig. 5.14). Los pozos Pacoa de desarrollo no atravesaron la sección inferior y por eso no hay reportes de producción de esa sección.

En la primera parte de la interpretación solo se identificó el espesor total de la formación Socorro y no se la pudo subdividir.

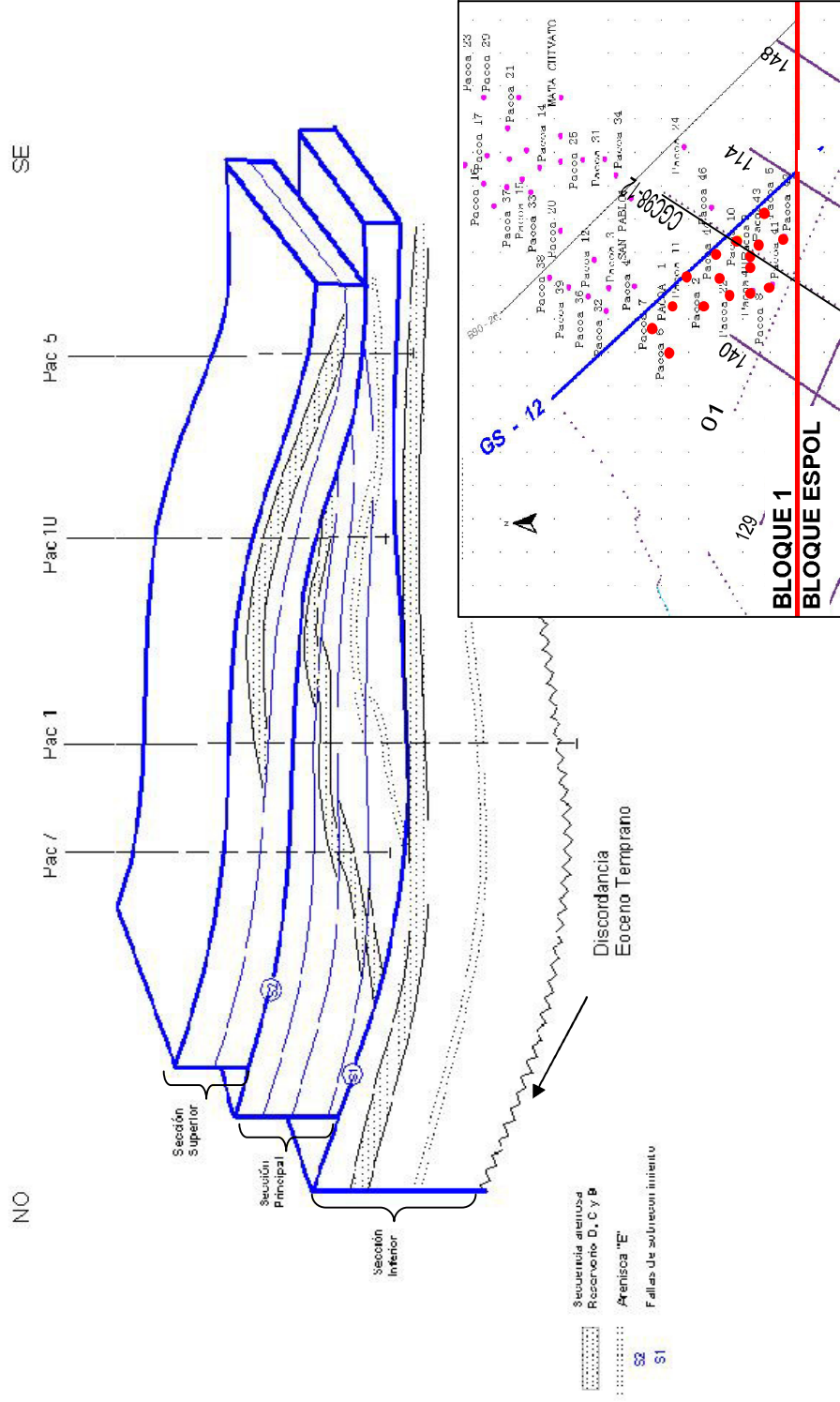


Figura 5.14.- Modelo estructural del campo Pácoa, realizada por Canada Grande (1999).

La intersección de las tres líneas mencionadas (Fig. 5.15) permitió identificar en el Norte del área San Vicente-Morrillo la sección superior de Socorro, cuyo tope es el mismo que fue identificado en la primera parte de la interpretación para el tope de la Fm. Socorro. No fue posible identificar las secciones principal e inferior. La sección superior fue correlacionada en las líneas 01, 129, 103, 12, 114, y 148 (Figs. 15 y 16); acuñándose hacia el Este, Oeste y Sur por esta razón no se presenta en las otras líneas. Esta sección continúa hacia el Norte (bloque Sur del campo Pacoa) hasta acuñarse en la inflexión o cambio de dirección del eje anticlinal.

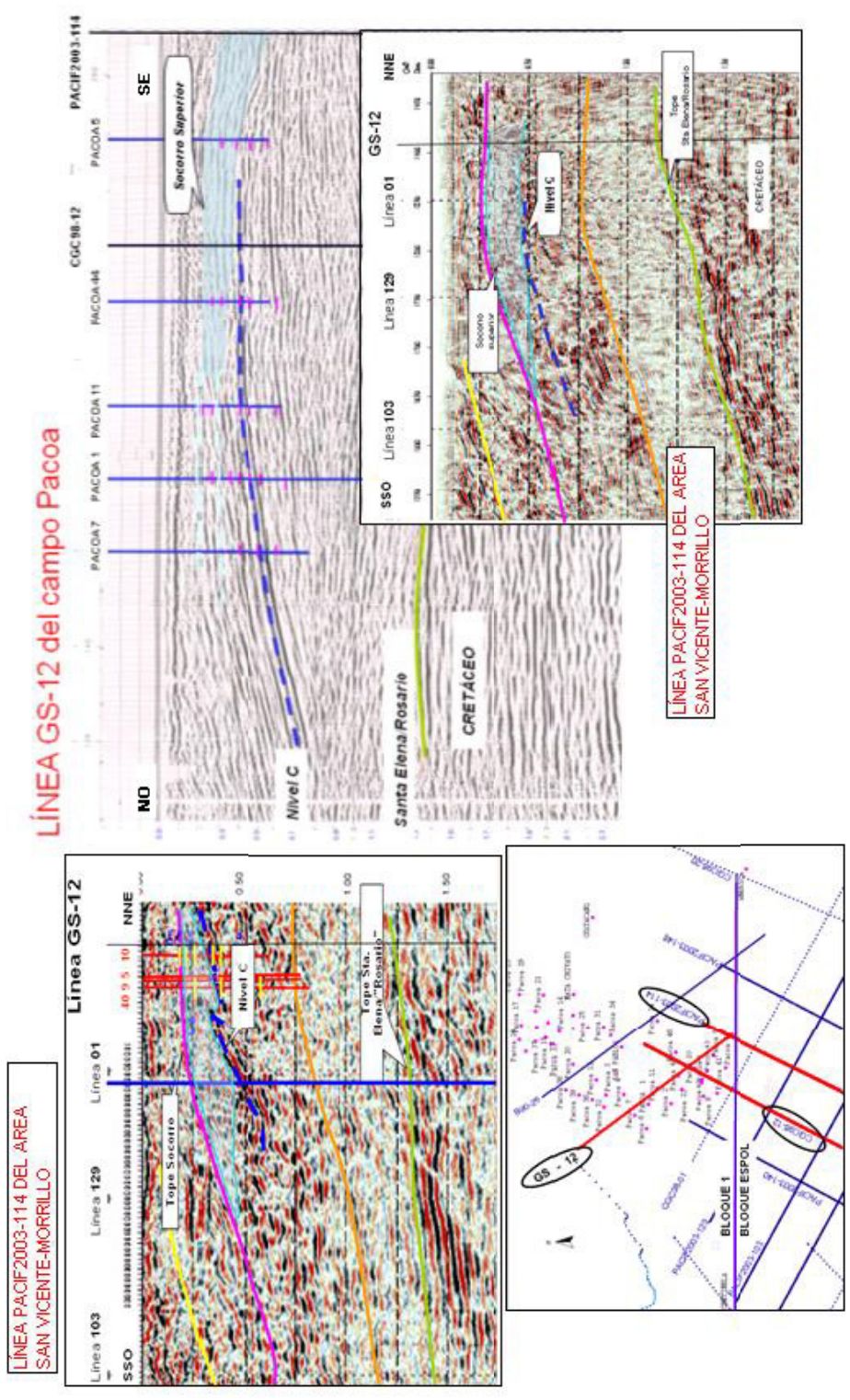


Figura 5.15.- Resultado del traslado de la sección superior y Nivel C de la Fm. Socorro en la línea GS-12 del campo Pacoa, a las líneas CGC98-12 y PACIF2003-114 del área San Vicente-Morrillo.

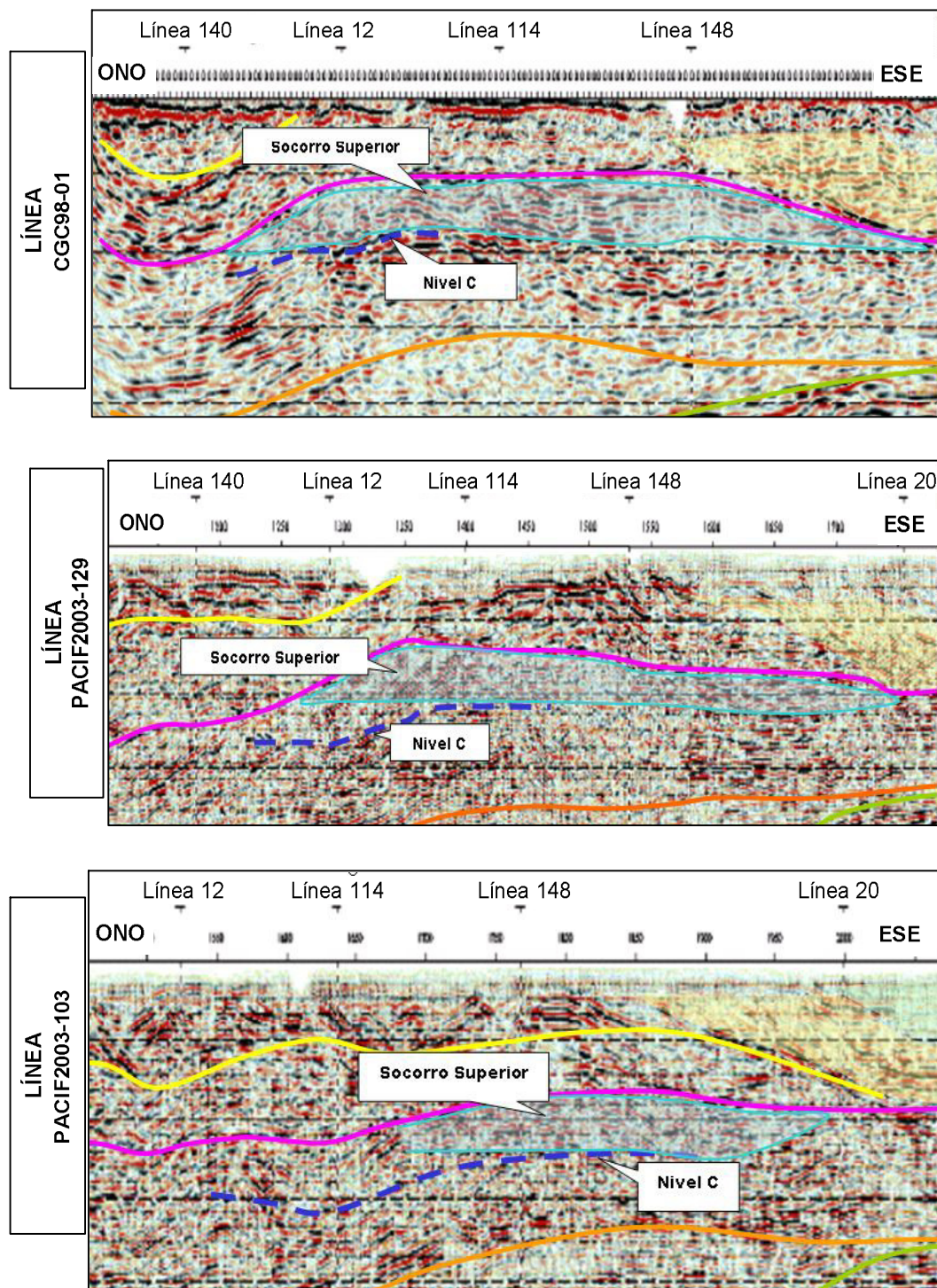


Figura 5.16.- Sección superior de la Fm. Socorro en líneas impares del área de estudio.

La Fig. 17 presenta el área de potencial hidrocarburífero del Nivel C (rayado en la primera parte de la interpretación). Ésta quedó limitada al Este por el sobrecorrimiento de la sección superior, como se aprecia en la línea 01 de la Fig. 5.16, lo que ayudó a determinar el área de explotación de este nivel. De esta forma la estructura del Nivel C queda limitada al Oeste y Sur por la curva de profundidad 650 m, siguiendo el nivel de producción de los pozos Pacoa. Cabe destacar que el eje del anticlinal coincide con el límite Este de la estructura. En la Tabla IX se presenta la producción acumulada de petróleo hasta abril del 2002. Las celdas con color son los pozos más cercanos al Bloque ESPOL, cuyas distancias varían entre 800 a 200 m (Pacoa 10 y Pacoa 42, respectivamente); la producción acumulada del pozo Pacoa 10, que está más alejado del bloque, es de 128.000 barriles de petróleo y del pozo Pacoa 42, el más cercano, es 39.000 barriles de petróleo que representa casi la tercera parte del pozo Pacoa 10. Es importante conocer estas cifras para tener idea de lo que podrían producir los pozos a ser perforados en el área de estudio.

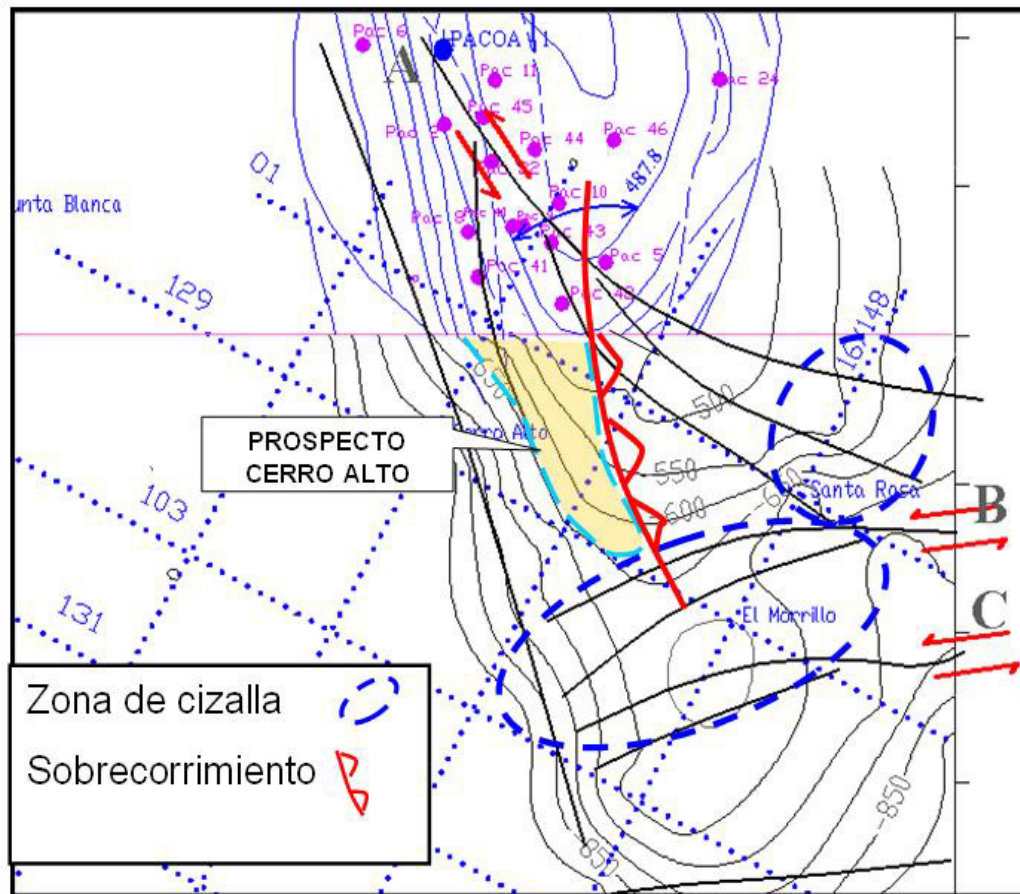


Figura 5.17.- Prospecto hidrocarbúfero para el Nivel C (Fm. Socorro).

Tabla IX.- Producción acumulada de petróleo del campo Pacoa, hasta abril del 2002.

Niveles	B	C	D	E	TOTAL
POZO	PETROLEO (bls)	PETROLEO (bls)	PETROLEO (bls)	PETROLEO (bls)	PETROLEO (bls)
PACOA 1	2199,45	93468,4	17495,05		113162,9
PACOA 2	41061,04				41061,04
PACOA 3		4224,67			4224,67
PACOA 4		47416,22	132899,76		180315,98
PACOA 5	3540,68	7495,04	6787,62	7396,05	25219,39
PACOA 6			6774,22		6774,22
PACOA 7	926,27		792,07		1718,34
PACOA 8	31810,13				31810,13
PACOA 9	33090,23			898,66	33988,89
PACOA 10	89142,23	31558,89		8219,33	128920,45
PACOA 11	23160,33		9232,03		32392,36
PACOA 12	1974,94	2473,47	10998,1	3999,07	19445,58
PACOA 14		33705,39			33705,39
PACOA 15			32254,96		32254,96
PACOA 16			36196,75		36196,75
PACOA 17			27146,49		27146,49
PACOA 18		35772,63			35772,63
PACOA 20			7291,08		7291,08
PACOA 21		8890,63	14626,17		23516,8
PACOA 22	81545,94	8192,27	3927,69		93665,9
PACOA 23		5257,09	15658,58		20915,67
PACOA 24	1146,76	1335,24			2482
PACOA 25		29535,94	29354,38		58890,32
PACOA 26		7451,87	4148,37		11600,24
PACOA 27		13897,11			13897,11
PACOA 28		2048,06	2365,66		4413,72
PACOA 29	455,48				455,48
PACOA 30		36633,45			36633,45
PACOA 31		17804,55			17804,55
PACOA 32	29623,52				29623,52
PACOA 33		5292,78			5292,78
PACOA 34			5131,51		5131,51
PACOA 35	1621,81				1621,81
PACOA 36		26167,54			26167,54
PACOA 37		3808,7			3808,7
PACOA 38		9311,92			9311,92
PACOA 39	13780,58				13780,58
PACOA 40	1762,21		33123,04	17717,78	52603,03
PACOA 41	14224,84			20740,1	34964,94
PACOA 42	25453,61	7037,71		6639,18	39130,5
PACOA 43	5041,98			16708,59	21750,57
PACOA 44		3044,69		3065,39	6110,08
PACOA 46		11938,04			11938,04
San Pablo		10,24	4307,48		4317,72
La Mata			7084,54		7084,54
TOTAL	401562,03	453772,54	407595,55	85384,15	1348314,27

Para calcular las reservas de la formación Santa Elena/"Rosario", se identificó el prospecto denominado también Cerro Alto (Fig. 5.18). El tope de este horizonte, al formar una gran plataforma, no tiene cierre de curva pero está limitado por fallas al E y O, la curva 1750 m productora de petróleo del pozo Pacoa 1 al Sur y el límite con el Bloque 1 al N.

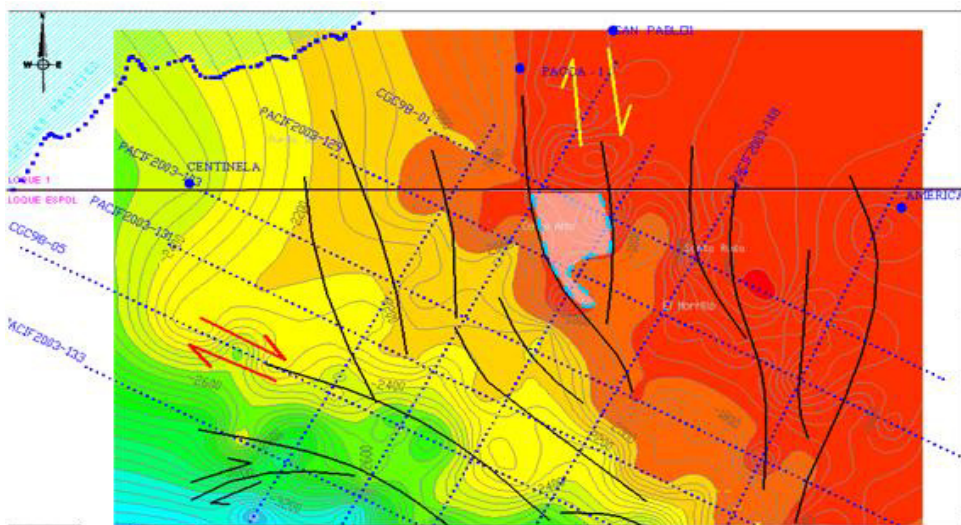


Figura 5.18.- Prospecto hidrocarburífero Cerro Alto de la formación Santa Elena/"Rosario".

CAPÍTULO 6

MODELO GEOLÓGICO DEL ÁREA SAN VICENTE-MORRILLO

El modelo geológico del área San Vicente-Morrillo se realizó a partir de la interpretación sísmica del área y de los informes geológicos del campo Pacoa, preparados por varios autores. En este capítulo se describirán:

- Relación de topografía y afloramientos.
- Descripción estructural del área San Vicente-Morrillo.
- Subsistencia del Eoceno Medio (Grupo Ancón).
- Formación de la Estructura Pacoa-San Vicente.

6.1.- Relación de topografía y afloramientos

La topografía del área de estudio se compone de dos áreas con colinas separadas por una depresión de cuenca fluvial actual, zona que coincide en subsuelo con el alto de la estructura anticlinal de Pacoa y su extensión en el área de estudio. Un área de colinas está situada al Suroeste de la población de Cerro Alto, con una altura máxima de 80 m sobre el nivel del mar, cuya litología es la formación Punta Ancón (areniscas), sus pliegues son isoclinales y empinados, buzando 60-80° al SO y 60-80° al NE. Otra área de colinas está situada al Sureste de la población El Morrillo-Santa Rosa, con una altura máxima de 80 m sobre el nivel del mar, su litología corresponde la napa El Morrillo (formación Azúcar y "Wildfysch" Santa Elena) con pendientes suaves y no empinadas. En el ANEXO J se muestra la superposición de la topografía con los afloramientos del área San Vicente-Morrillo. Afloramientos y fallas de sobrecorrimientos (décollements) de la napa El Morrillo tienen el mismo rumbo, Noreste y vergencia NO.

6.2 Descripción estructural del área San Vicente-Morrillo

Para describir estructuralmente el área San Vicente-Morrillo se tomó como base los eventos tectónicos regionales, esto es la variación en la dirección de convergencia de la Placa Nazca con la Sudamericana.

En el Cretáceo Superior-Paleoceno la convergencia seguía una dirección NE-SO (Fig. 6.1 A), generando fuerzas compresivas en esa dirección, las mismas que han producido dos juegos de fallas de desplazamiento de rumbo en direcciones NO-SE y N-S (Ver ANEXO H, mapa estructural del tope de la Formación Santa Elena/Rosario). En el Eoceno-Mioceno Inferior cuando se formó la Placa Cocos, se produjo un cambio en la dirección de convergencia de la Placa Nazca de NE-SO a casi E-O (Fig. 6.1 B). Este cambio provocó que los lineamientos de las fallas tomaran direcciones que varían de NO-SE a NE-SO, y generó una cupla regional (ver figs. 6.2 y 6.3) que se manifiesta en el cambio del eje del anticlinal de la Fm. Socorro de NO a NE (rotando en el sentido de las manecillas del reloj). Las fallas A, B y C (ver Fig.6.2) serían el producto de este cambio de dirección del eje anticlinal, constituyendo una zona de alta trituración de las rocas, como se aprecia en las líneas sísmicas por donde pasan estas fallas. Benitez (1995), en sus notas de campo ha determinado una gran falla de desplazamiento de rumbo sinistral que se adentra en dirección NO-SE desde Punta Blanca hacia el área de estudio.

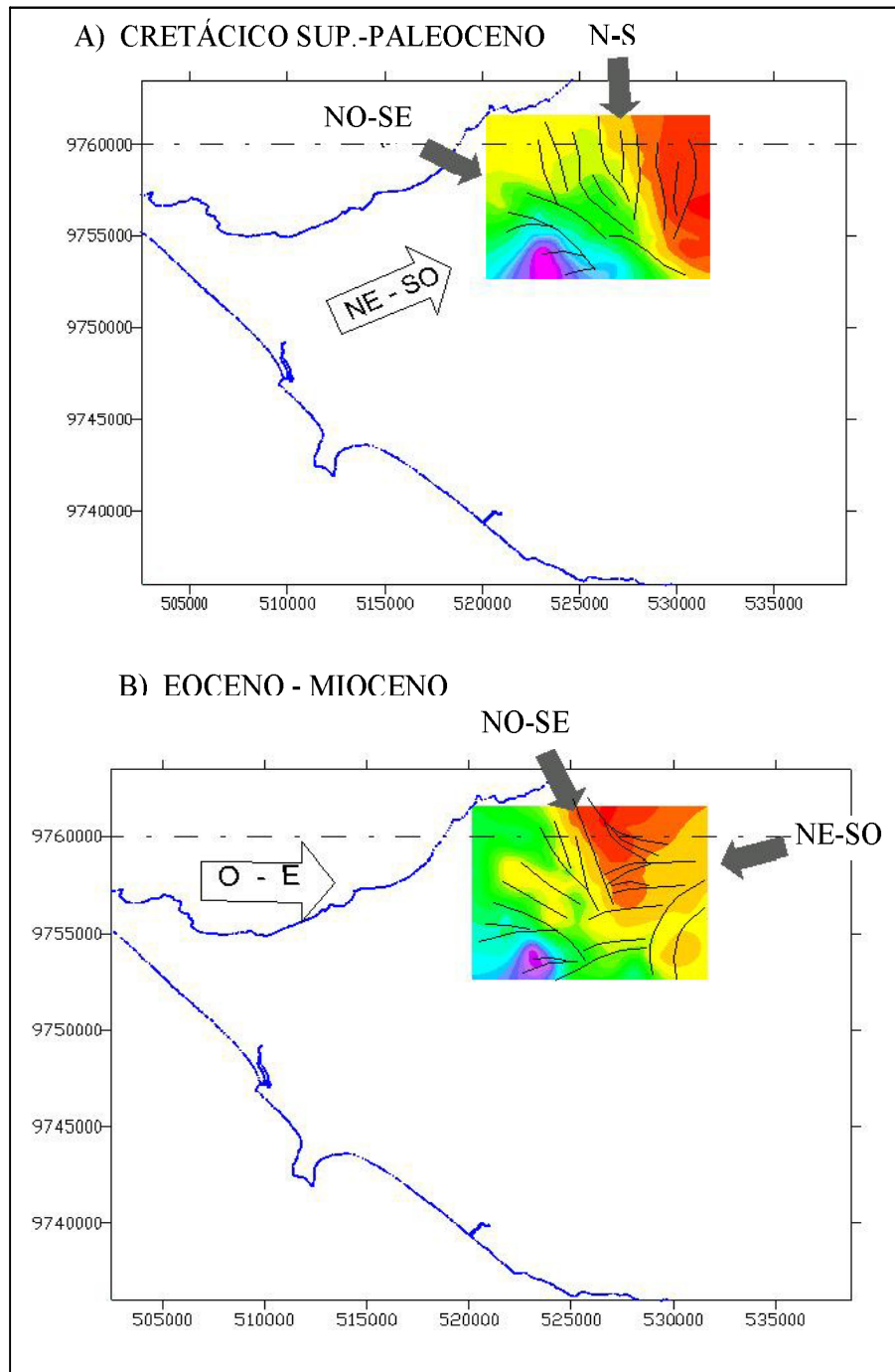


Figura 6.1.- Cambios en la dirección de convergencia de las Placas Nazca y Sudamericana. Las flechas blancas indican la dirección de convergencia y las grises indican la dirección que toman las fallas.

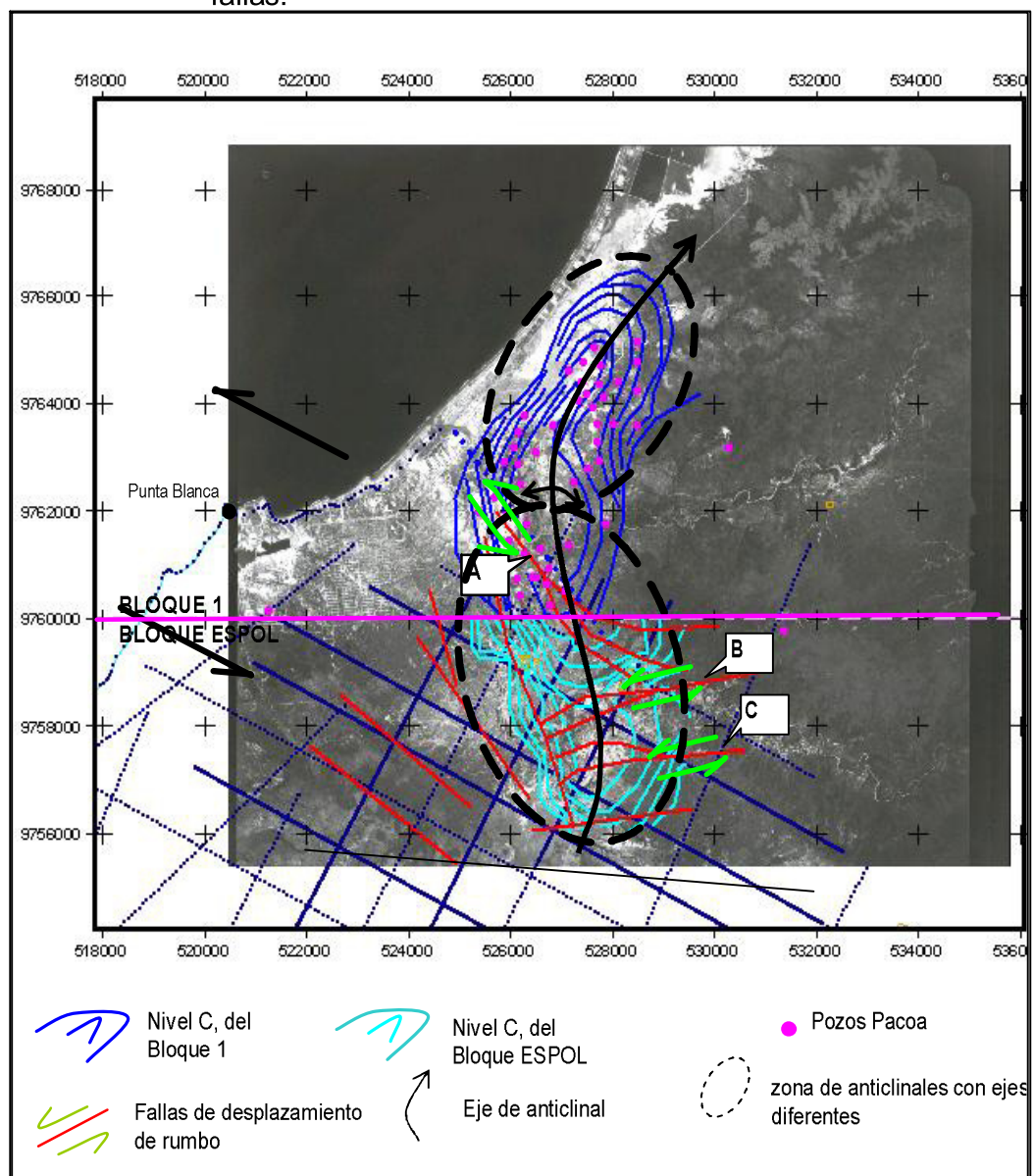


Figura 6.2.- Cupla regional, originada por la convergencia entre las placas Nazca y Sudamericana en sentido E-O.

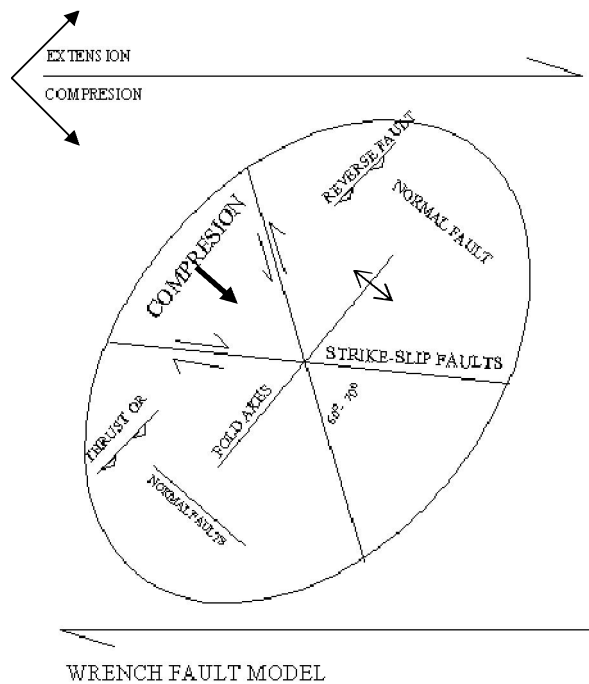


Figura 6.3.- Modelo estructural de una cupla de cizalla (Park, 1988)

6.3 Subsistencia del Eoceno Medio (Grupo Ancón).

El mapa gravimétrico muestra la existencia de una cuenca intra talud en el área San Vicente-Morrillo, limitada por el levantamiento constituido por rocas de edad Cretáceo-Paleoceno (Fig. 6.4). La zona de la cuenca está marcada por una fuerte anomalía de Bouguer negativa que traduce un espesor sedimentario del Eoceno medio cercano a los 9000 pies

(Benítez, 1995). El pozo Centinela en la sección de la línea sísmica 103 muestra claramente la subsidencia del Eoceno Medio.

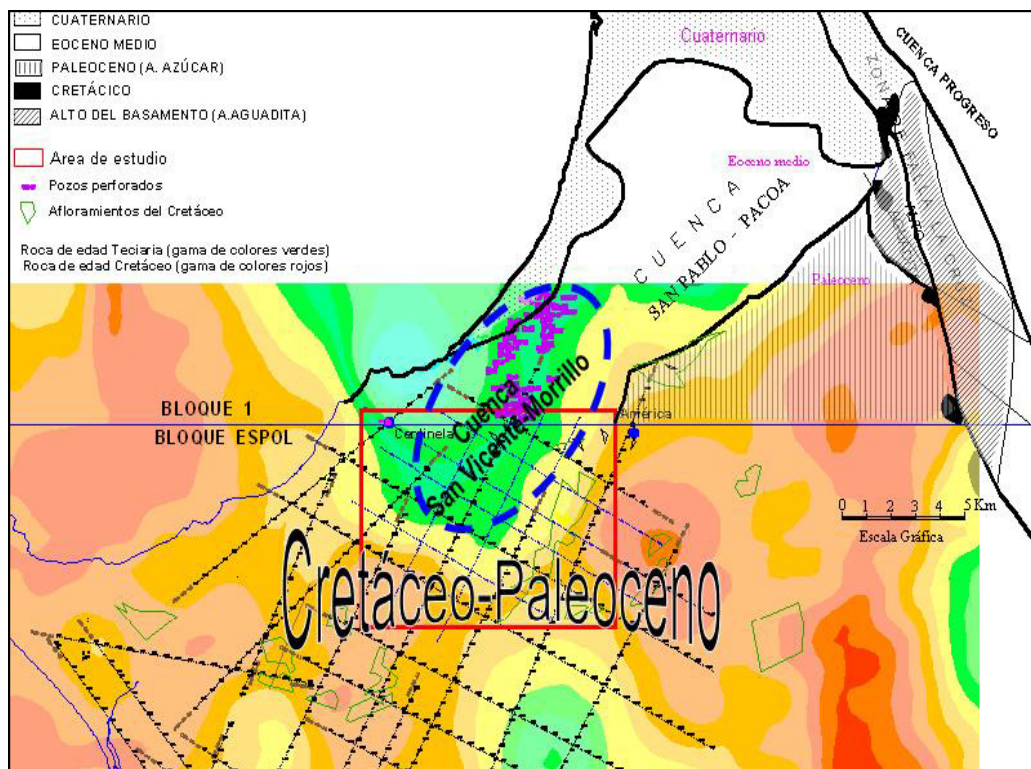


Figura 6.4.- Cuenca San Vicente-Morrillo limitada al sur y por el levantamiento de rocas del Cretáceo-Paleoceno.

El pozo Centinela tiene toda la secuencia del Grupo Ancón (Punta Ancón, Seca, Socorro, excepto la formación Clay Pebble Beds). Los estudios micro paleontológicos (Euribe, BELCO, 1988) establecen sin ninguna duda que toda la secuencia es de edad Eoceno medio.

El depósito de la potente secuencia del Grupo Ancón en la cuenca intratallud del Cretáceo, refleja un período distensivo general durante la mayor parte del Eoceno medio; además la elevación eustática del nivel del mar de aquel período contribuyó a realzar el efecto tectónico distensivo (Benítez, 1995).

6.4 Formación de la Estructura Pacoa- San Vicente.

La estructura (anticlinal) Pacoa-San Vicente se ha formado por sobrecojimientos producto de las fases de compresión E-O. Las evidencias de sobrecojimientos en el campo San Vicente son la napa El Morrillo que se ve bien marcada por los reflectores en todas las líneas sísmicas impares (ANEXO C).

En el informe de Canada Grande (1999), se destaca que en el pozo América (Fig. 6.5) las rocas atribuidas a la formación Azúcar de edad posiblemente Paleoceno yacen sobre las rocas del Eoceno Medio. El carácter turbidítico descrito en los núcleos del pozo y la presencia de anomalías de Bouguer cercanas a cero (presencia cercana a la superficie de rocas más pesadas) en el sector de este pozo favorecen la teoría de sobrecojimientos.

Sin embargo existen pocos datos de campo para confirmar que el Grupo Azúcar se encuentre aflorando en la ubicación mencionada (el lado Este del área de estudio). El mapa de los ingleses confirma la presencia del Grupo Azúcar, mientras que los argentinos mapearon la Fm. Clay Pebble Beds sin mayores argumentos.

	PROF. (pies)	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN
EOCENO MEDIO		AZÚCAR?	Arenisca gris oscura, verdosa, muy fina a fina, ocasionalmente grano medio, interestratificada con limolita dura, gradando a arenisca de grano fino.
	1000'		Limolita gris oscura, dura.
		Wildflysch Sta. Elena	Lutita limosa gris oscura, dura.
	2000'		Arenisca de grano fino a medio, muy dura. Ocasionalmente lutita limosa negra.
			Limolita y arenisca fina.
	2900'		Lutita limosa dura.
	3000'	SOCORRO	Lutita negra fracturada, cerosa, con slickensides.
	4000'		Lutita negra fracturada.
	4120'		Lutitas interestratificadas color café chocolate y gris oscuro.
No determinado por BELCO		CPB	Limolita clara, lutita gris.
		TD	

Figura 6.5.- Columna litológica del pozo América del campo Pacoa-
área San Vicente-Morrillo (Canada Grande, 1999,
modificado con la interpretación).

Un sobrecorrimiento se desliza sobre una falla de empuje que sigue un plano de estratificación; esta falla se conoce como falla de empuje de estratificación, aunque es de una clase especial y se pueden denominar DÉCOLLEMENT. El rumbo de esta falla en el área de San Vicente-Morrillo es perpendicular a la dirección en la cual se deslizan los sedimentos. En la Fig. 6.6, se muestra la superposición de los afloramientos del campo Pacoa, San Vicente y las fallas de DECOLLEMENT formadas por los sobrecorrimientos de las napas del Wildflysch Santa Elena y Azúcar; estas fallas coinciden con el mapa de afloramientos (según Benítez, 1995) del Bloque 1. Además, la inclinación de estas fallas indica la dirección de donde provienen los sedimentos; esto es desde el SE. Esto explicaría que los sobrecorrimientos de la formación Socorro fueron traídos también de esta dirección proveniente de la antigua plataforma y/o talud continental situada al Este.

existencia de un paleo talud/plataforma formado por el tope del Cretáceo (Fm. Santa Elena/“Rosario”). Además, el conjunto del Grupo Ancón pudo haberse sobrecorrido a lo largo de una falla compresional/extensional preexistente que sirvió de contacto con el Cretáceo y el movimiento de esta falla pudo haber sido suficientemente grande como para originar espejos de fricción y brecha de falla; ésta puede denominarse una falla de empuje de estratificación, en tanto el techo se mueva con relación al piso, originando características de meteorización submarina propias del tope de la Formación Santa Elena/“Rosario”. La Fig. 6.7 muestra el modelo de sobrecorrimientos del Grupo Ancón sobre la paleo plataforma/talud del Cretáceo.

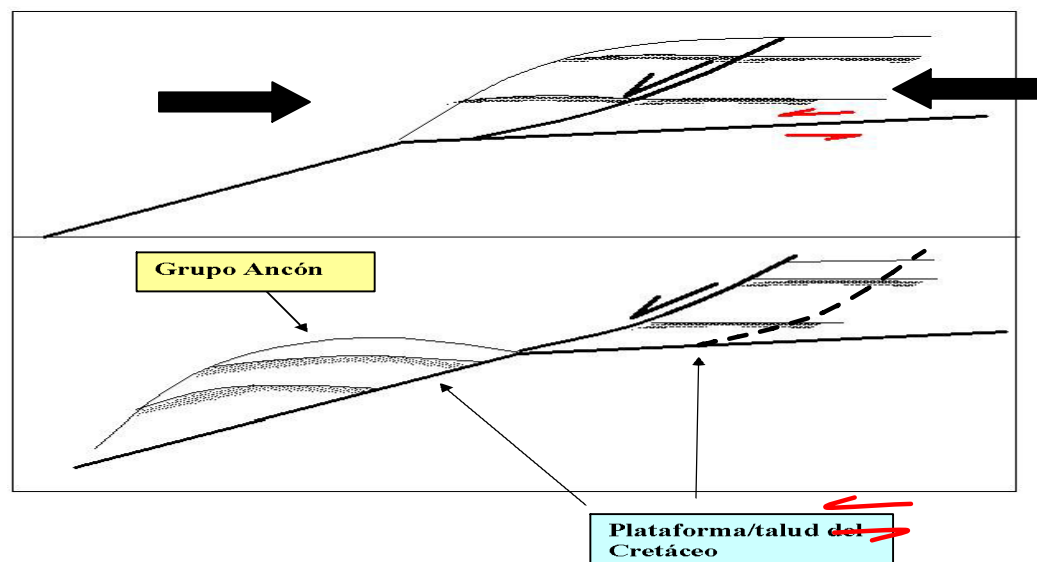


Figura 6.7.- Modelo combinado de sobrecorrimiento y deslizamiento gravitacional en margen continental.

<

CAPÍTULO 7

POSIBILIDADES HIDROCARBURÍFERAS

7.1 Geoquímica del área de estudio

El petróleo del pozo Pacoa 1X ha sido estudiado cromatográficamente en un núcleo en el intervalo 2276 a 2283 pies profundidad, cuyos resultados son:

- Gravedad API: 35°

- Composición:

86% de hidrocarburos saturados.

11,8% de hidrocarburos aromáticos.

2,2% de componentes N, S, O.

La Fig. 7.1 muestra que el petróleo de la formación Socorro (2776') es de origen mixto con predominio de materia orgánica continental depositada en medio oxidante.

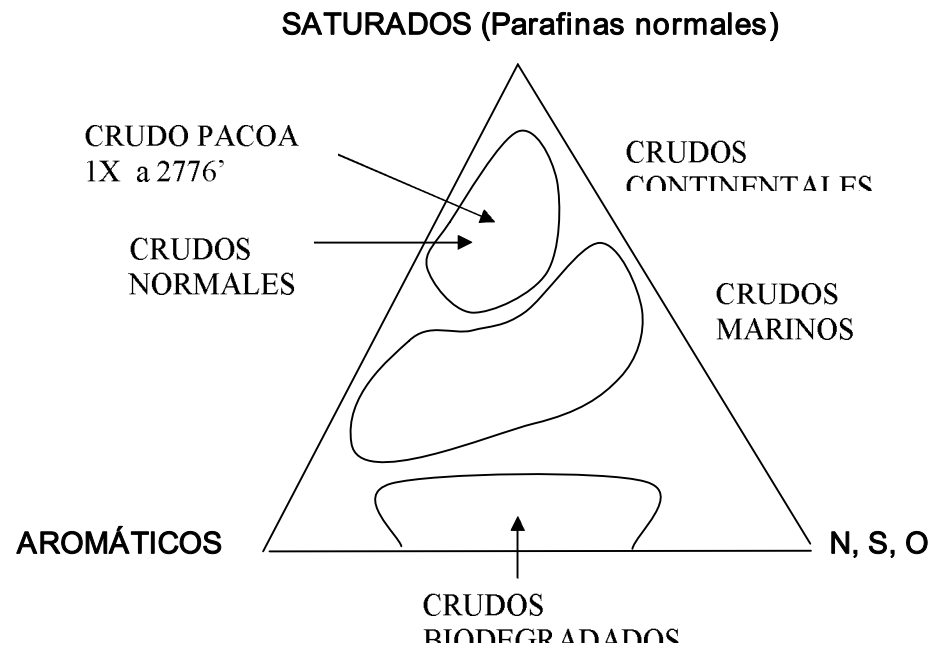


Figura 7.1.- Composición del petróleo (Pozo Pacoa 1 a 2776 pies de profundidad)

Según Canada Grande (1999), los gráficos de reflectancia de vitrinita (RoV) vs. profundidad (pozos exploratorios) muestran que los minerales de la formación Socorro son exógenos; por el contrario, los minerales de la formación CPB son principalmente autógenos. Los mayores valores de RoV en la formación Socorro indican que los detritos orgánicos podrían provenir de rocas geoquímicamente más maduras o también haber sufrido procesos de oxidación durante el transporte, los que normalmente amplifican los valores de RoV.

7.2 Trampas Hidrocarburíferas.

Las trampas formadas por la Fm. Socorro son consideradas como trampas estructurales producto de sobrecojimientos que dominan el área de estudio.

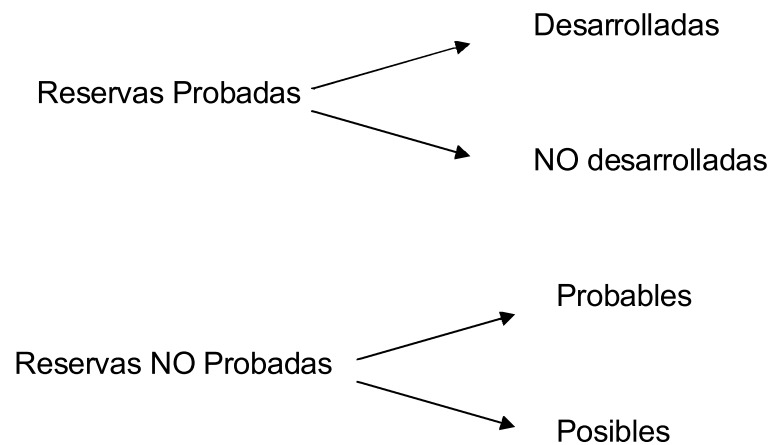
Debido a la ocurrencia de petróleo en la formación Socorro se puede determinar que la migración fue posterior al Eoceno Medio medio, cuando las trampas ya estaban formadas. La roca sello para la formación Socorro es la formación Seca (arcillolitas tobáceas).

La “formación Rosario” es otra roca reservorio, con una porosidad muy pobre debido a procesos de compactación y silicificación; la migración de petróleo fue posible por la presencia de numerosas fallas del Eoceno tardío. La roca sello para esta formación es la formación impermeable CPB (limolitas y lutitas).

Sísmicamente, la presencia de hidrocarburos está representada por los “bright spots” (puntos brillantes), que son reflectores brillantes y de gran amplitud; en este trabajo no fue posible identificarlos debido a la regular calidad de los reflectores.

7.3 Reservas Potenciales

Según la Sociedad de Ingenieros Petroleros (S.P.E) y el Congreso Mundial de Petróleo (W.P.C), las reservas se clasifican en:



Las reservas del Nivel C (reservorio más importante de la Fm. Socorro) fueron consideradas como reservas probables; según la SPE y el WPC las reservas probables incluyen aquellas áreas que se prevé verificar por medio de la perforación convencional de pozos de avanzada en zonas para las cuales el control del subsuelo no es todavía suficiente para categorizar a las reservas como probadas.

El prospecto del nivel C se encuentra limitado al Este por el sobrecorrimiento de la sección superior de Socorro, al Norte por el límite del Bloque, y al Oeste y Sur por la curva 650 m.

Para calcular las reservas de la formación Santa Elena/“Rosario”, se identificó el prospecto denominado también Cerro Alto. El tope de este horizonte, por formar una gran plataforma, no tiene cierre de curva; entonces el prospecto Cerro Alto se cerró por el límite de bloques, fallas y la curva (1750 m) productora de petróleo del pozo Pacoa 1. Estas reservas también pueden considerarse como reservas probables.

7.3.1 Cálculo de Reservas del Nivel C (Fm. Socorro) y de la Fm. Santa Elena/“Rosario”

Para el cálculo de reservas se utilizó el método volumétrico, para lo cual es indispensable determinar los parámetros de la fórmula:

- $$VOLUMEN_{petróleo} (POES) = 7758 \text{ Barriles} \left(\frac{\text{acres}}{\text{pies}} \right) \left(\frac{VOLUMEN_{total \text{ de la roca}} * \Phi * S_o}{FV} \right)$$

POES = Petróleo original en sitio

Φ = Porosidad

S_o = Saturación de petróleo

FV = Factor volumétrico

- $$RESERVAS \text{ RECUPERABLES} = POES * FR$$

FR = Factor de recobro

El valor 7758 de la fórmula volumétrica se cambia por 25446 porque las curvas de nivel están dadas en metros y no en pies.

El volumen total de la roca se calculó por el método trapezoidal:

$$VOLUMEN \text{ total de la roca} = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) * \text{intervalo de curva}$$

$A_1, A_2 =$ áreas de los intervalos de curva

Las áreas se calcularon en metros cuadrados, las mismas que se transformaron en acres dividiendo por 4026.

Los otros parámetros de la fórmula: *porosidad* (Φ), *saturación de petróleo* (S_o), *factor volumétrico* (FV) y *factor de recobro* (FR), son los mismos que se usaron en el cálculo de reservas del campo Pacoa, excepto los valores de porosidad que fueron calculados de los registros sínicos de los pozos Pacoa. Los valores de porosidad siguen una distribución logarítmica y sobre ellos se aplicó el método de Monte Carlo, a través de un programa de simulación diseñado por los ingenieros de reservorios de la compañía CGC. Otro parámetro que interviene en la fórmula volumétrica es el valor de la relación entre el *espesor útil* y el *espesor total* (NTG, net to gross ratio).

Cálculo de Reservas del Nivel C (Fm. Socorro)

En la Tabla X, se muestra el cálculo de las superficies y volúmenes de los prospectos identificados como probables áreas productoras de hidrocarburos.

TABLA X

CALCULO DE VOLUMEN NETO DE ROCA			
Nivel C (Fm. Socorro)			
Cerro Alto			
CURVA DE NIVEL (m)	SUPERFICIE		VOLUMEN (Acre*m)
	(m ²)	(Acre)	
-650	968424	239,30	
-600	587224	145,11	9610
-550	247438	61,14	5156
-500	87300	21,57	2068
			539
VOLUMEN DE ROCA			17374

Intervalo de curva = 50 m

Superficie (acre) = superficie m²/ 4046.86267

Volumen (acre*m) = ((A₁ + A₂)/2) * intervalo de curva

Porosidad (Φ).- Los valores de porosidad fueron obtenidos del registro sísmico del pozo Pacoa 10, a partir de la fórmula:

$$\Phi_s = (\rho_{ma} - \rho_b) / (\rho_{ma} - \rho_f)$$

Φ_s: porosidad sísmica.

ρ_{ma}: densidad de la matriz.

ρ_b: densidad leída del registro.

ρ_f: densidad del fluido (agua)

ρ_{ma} = 55,5 (arenas)

ρ_f = 189 (agua)

El resultado obtenido de la distribución logarítmica de los valores de porosidad, es:

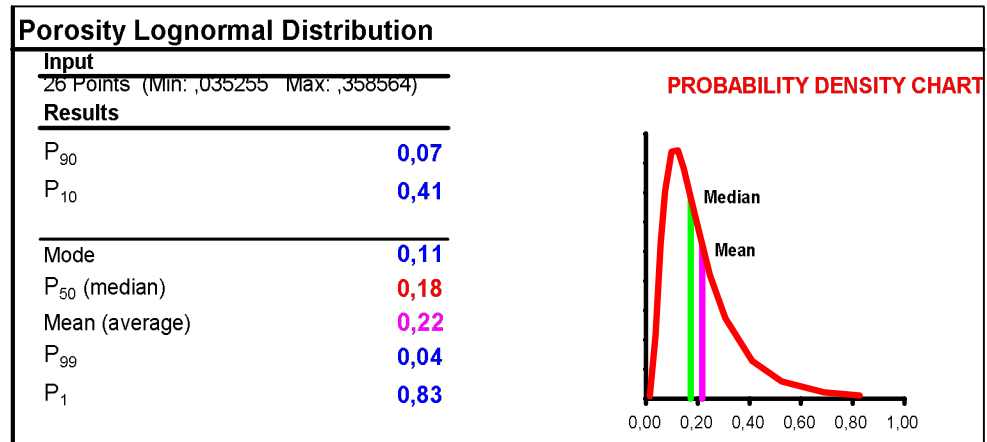


Figura 7.2.- Distribución logarítmica de los valores de porosidad del nivel C del pozo Pacoa 10.

La porosidad que se escogió para el cálculo de reservas es el valor promedio 0.22. Los valores de los otros parámetros usados para el cálculo de reservas del campo Pacoa son:

Saturación de agua = 50 %

Factor de recobro = 11%

Factor volumétrico = 1.2 %

La relación entre espesor útil y espesor total (NTG) del pozo Pacoa 10 es 0,15.

En la tabla XI, se muestra el cálculo de reservas probables de petróleo que se podrían obtener del Nivel C.

TABLA XI.- Reservas en sitio y reservas recuperables del Nivel C.

NIVEL C, RESERVAS PROBABLES								
PROSPECTO Cerro Alto	VOLUMEN DE ROCA (acre-m)	Net to Gross ratio (NTG)	Porosidad (Φ)	Saturación de Petróleo (So)	FACTOR VOLUMÉTRICO (FV)	VOLUMEN ORIGINAL PETRÓLEO EN SITIO POES (MMBLS)	FACTOR DE RECUBRO FR(%)	VOLUMEN DE PETRÓLEO RECUPERABLE (MMBLS)
	17374	0,15	0,22	0,5	1,2	6,08	11,00	0,67
	TOTAL					6,08		0,67

Cálculo de reservas de la formación Santa Elena/"Rosario"

En la Tabla XII, se muestra el cálculo de las superficies y volúmenes de los prospectos identificados como probables áreas productoras de hidrocarburos.

TABLA XII

CALCULO DE VOLUMEN NETO DE ROCA Formación Santa Elena/"Rosario"			
CURVA DE NIVEL (m)	SUPERFICIE		VOLUMEN (Acre*m)
	(m ²)	(Acre)	
-1700	920262	227,40	
-1650	595694	147,20	9.365,01
-1600	341283	84,33	5.788,29
-1550	199748	49,36	3.342,29
			1233,97
VOLUMEN DE ROCA			18496

Para el cálculo de reservas de la formación Santa Elena/Rosario se usarán también los mismos parámetros que se usaron en el campo Pacoa excepto la porosidad, la que se obtuvo del registro sísmico del pozo La Mata Chivato. El valor usado en los cálculos es el valor promedio (19 %) (Fig. 7.3).

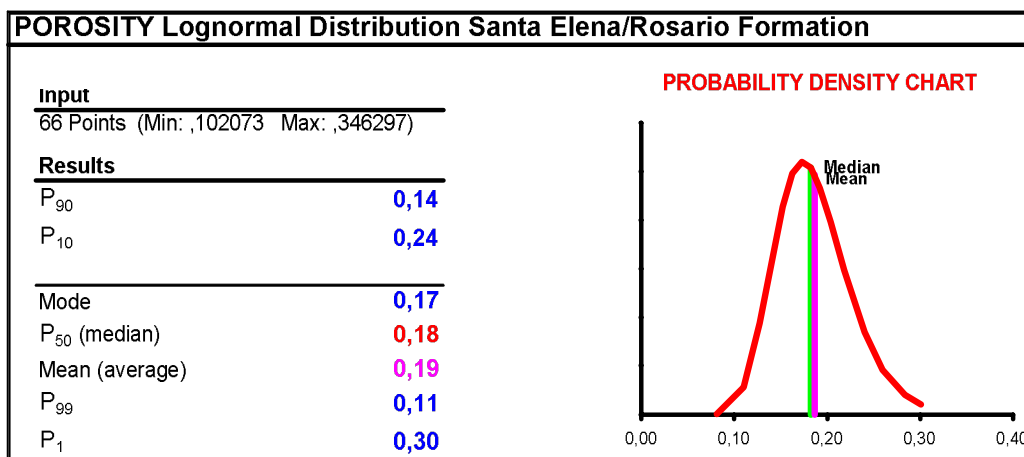


Figura 7.3.- Distribución logarítmica de los valores de porosidad de la formación Santa Elena/“Rosario”.

Los valores de los otros parámetros usados en el cálculo de reservas de la formación Santa Elena/Rosario se presentan en la tabla XIII.

TABLA XIII.- Reservas en sitio y Reservas recuperables de la formación Santa Elena/“Rosario”

PROSPECTO Cerro Alto	VOLUMEN DE ROCA (acre-pie)	Net to Gross ratio (NTG)	Porosidad (Φ)	Saturación de Petróleo (S _o)	FACTOR VOLUMÉTRICO (FV)	VOLUMEN ORIGINAL PETRÓLEO IN SITU OOIP (MMBLS)	FACTOR DE RECOBRO FR(%)	VOLUMEN DE PETRÓLEO RECUPERABLE (MMBLS)
	18496	0,15	0,19	0,5	1,2	5,59	11,00	0,61
TOTAL =						5,59	TOTAL =	0,61

7.4 Factibilidad de la Explotación.

La explotación en el campo San Vicente podría verse afectada por las siguientes razones:

- Baja porosidad primaria, afectada tanto por las elevadas cantidades de matriz (arcillo-tobácea), como por la cementación calcárea.
- Según la evaluación realizada en el campo Pacoa; las bajas producciones iniciales de los distintos niveles se deben a la falta de intercomunicación en la red de fisuras que le confiere porosidad y permeabilidad secundaria.
- La perforación y cementación del pozo pueden dañar la formación, porque la zona es altamente fracturada y sobre todo porque la matriz arcillosa predominante es la esmectita y nontronita (según estudios petrográficos de LABOGEO en el pozo Pacoa 1) que favorecen el hinchamiento estructural y su hidratación característica.

Por otro lado hemos establecido que el Bloque 1 (campo Pacoa) comparte el yacimiento con el Bloque ESPOL, lo cual implica posiblemente que los trabajos de explotación de Pacoa de alguna manera han alterado las condiciones hidrodinámicas originales del área San Vicente-Morrillo, lo cual deberá ser tomado en cuenta al momento de evaluar los resultados de futuras perforaciones exploratorias.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Se comprobó la continuidad del alto Socorro del campo Pacoa en el área San Vicente-Morrillo; esta continuidad solo era una hipótesis planteada hace 15 años.

- Se utilizaron técnicas analíticas y de modelamiento a partir de líneas sísmicas digitalizadas, informes geológicos de superficie y de subsuelo, mediante softwares: Geographix, Surfer v.8, Autocad, Arcview.

- Para el cálculo de reservas, a falta de mayor detalle en las líneas sísmicas de las arenas productoras D, B y E, se utilizó solamente el nivel C de la Fm. Socorro. Y se consideró también para el cálculo de

reservas, la Fm. Santa Elena/ "Rosario" (Prospecto considerado en Pacoa).

- El área de potencial hidrocarburífero en la formación Socorro se ubican al Oeste del eje anticlinal.
- Los resultados presentados por la compañía PACIFPETROL tienen mucha semejanza con los del presente estudio, difiriendo en la dirección de las fallas.
- Las fallas tienen dos direcciones que varían según los cambios de dirección de convergencia de las placas Nazca y Sudamericana.
- Las zonas de cizallas son producto de la cupla regional que ha originado que la estructura de Socorro en el área San Vicente-Morrillo se haya movido hacia el Este.
- En el sector Este del área de estudio se presenta una secuencia alóctona que denominamos napa El Morrillo (incluye el Wildflysch de Santa Elena y Azúcar) de edad probable Eoceno medio superior sobre la secuencia autóctona del Terciario y Cretáceo.

- Los sobrecorrimientos de las napas El Morrillo y de la sección superior de Socorro se han visto favorecidos por el alto buzamiento del paleo talud.

- Los reflectores de las formaciones Seca y Socorro están bien definidos en el área de la paleo plataforma y no así en el paleo talud.

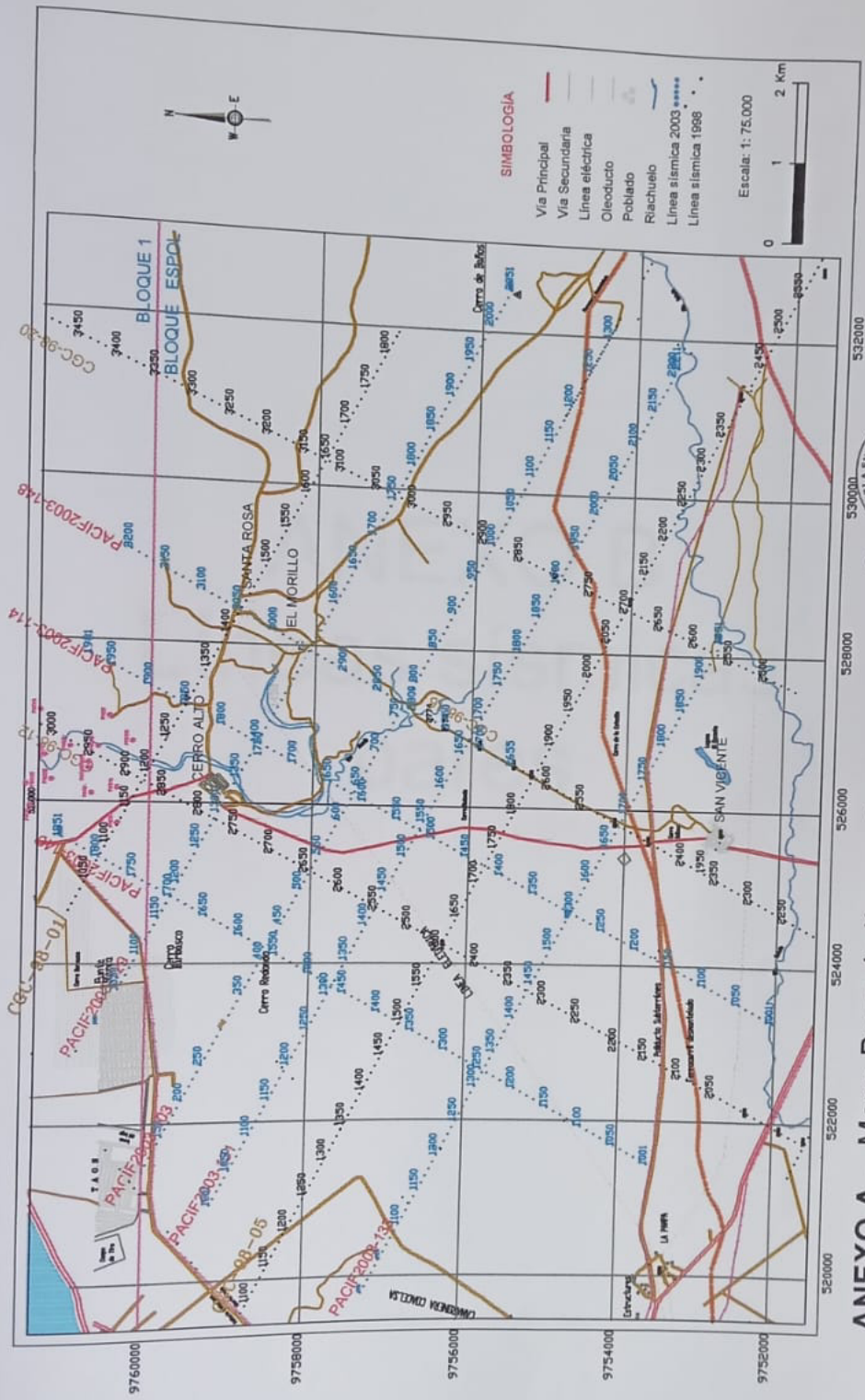
- La configuración de los reflectores corrobora el paleo ambiente de baja y alta energía de las formaciones CPB y Socorro respectivamente.

- La interpretación estará sometida a cambios con la perforación de nuevos pozos, estudios geológicos, paleontológicos, etc.

8.2 Recomendaciones

- Se debe tomar en cuenta, al momento de evaluar los resultados de futuras perforaciones exploratorias, que el Bloque 1 (campo Pacoa) comparte el yacimiento con el Bloque ESPOL, lo cual implica posiblemente que los trabajos de explotación de Pacoa de alguna manera pueden haber alterado las condiciones hidrodinámicas originales del yacimiento del área San Vicente-Morrillo.
- Mejorar la calidad de las líneas sísmicas, con procesamientos que permitan mejorar la señal tales como: ecualización, deconvolución, filtros que eliminen al máximo los ruidos, entre otros.
- Realizar análisis paleontológicos de las formaciones que afloran en el área de estudio y en especial de las napas del área oriental.
- Confirmar en el campo las fallas que se definieron en esta interpretación.

ANEXOS



530000 532000

528000

526000

524000

522000

520000

9750000 9755000 9760000



ANEXO A.- Mapa Base de líneas sísmicas.

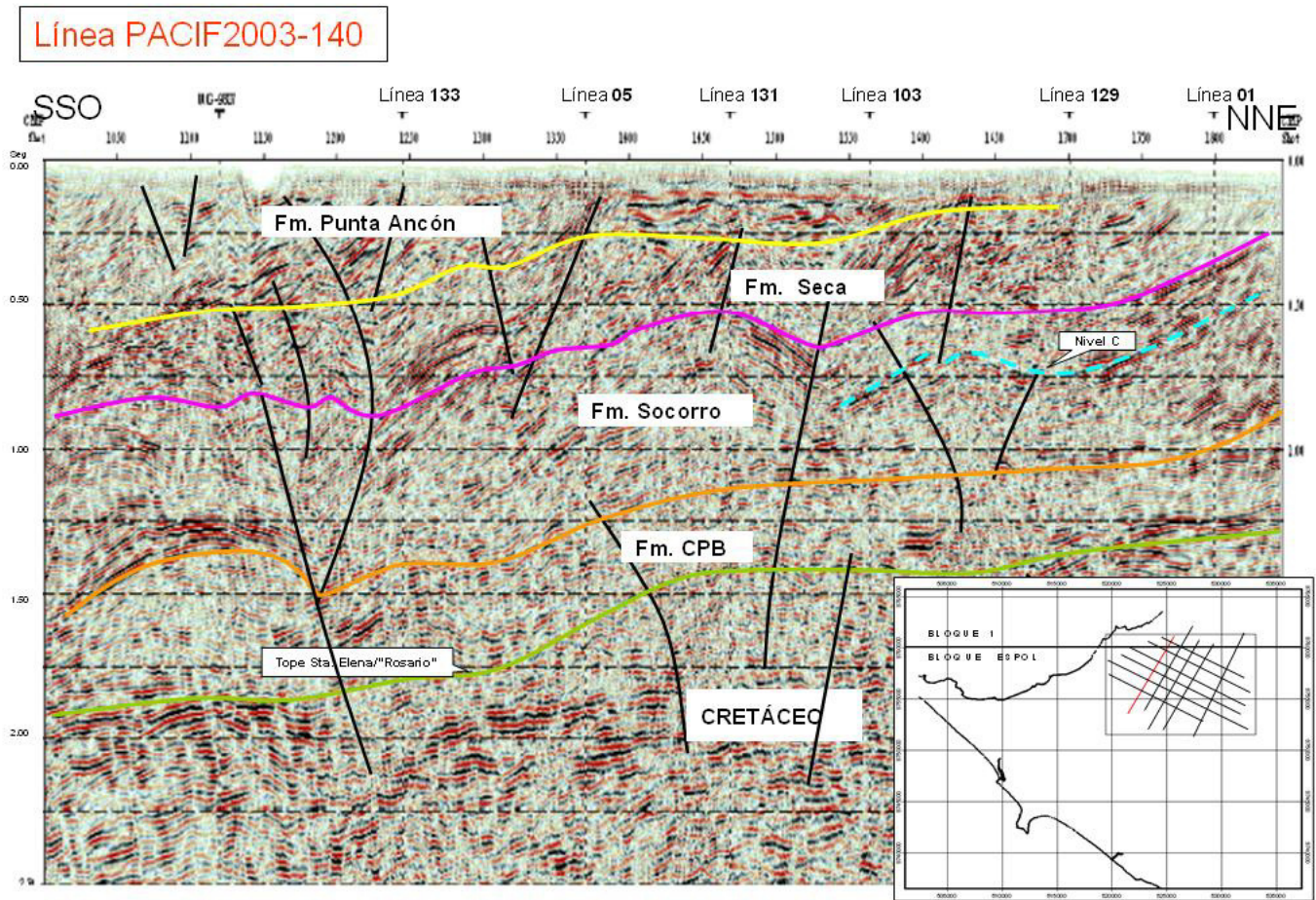
SIMBOLOGIA

- Vía Principal —
- Vía Secundaria —
- Línea eléctrica —
- Oleoducto —
- Poblado ●
- Riachuelo ~
- Línea sísmica 2003 - - - - -
- Línea sísmica 1998 - - - - -

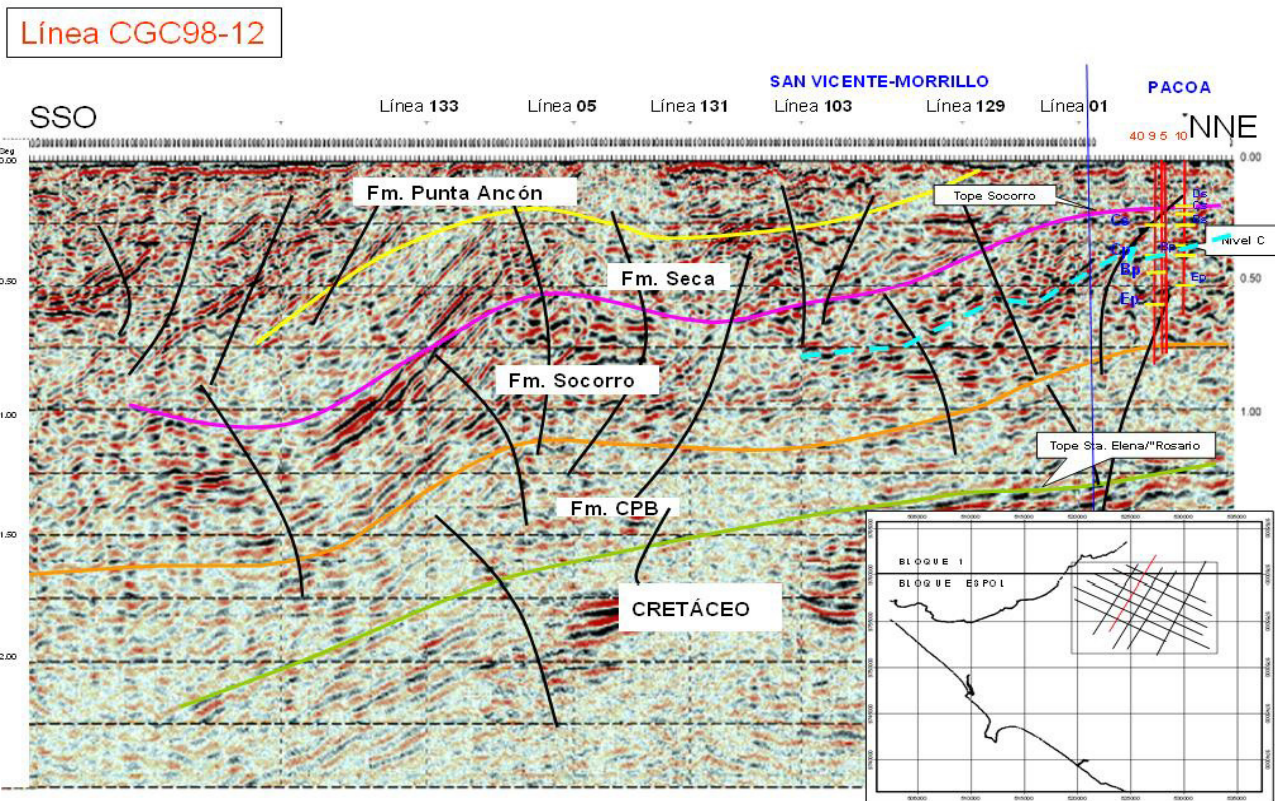
Escala: 1:75.000



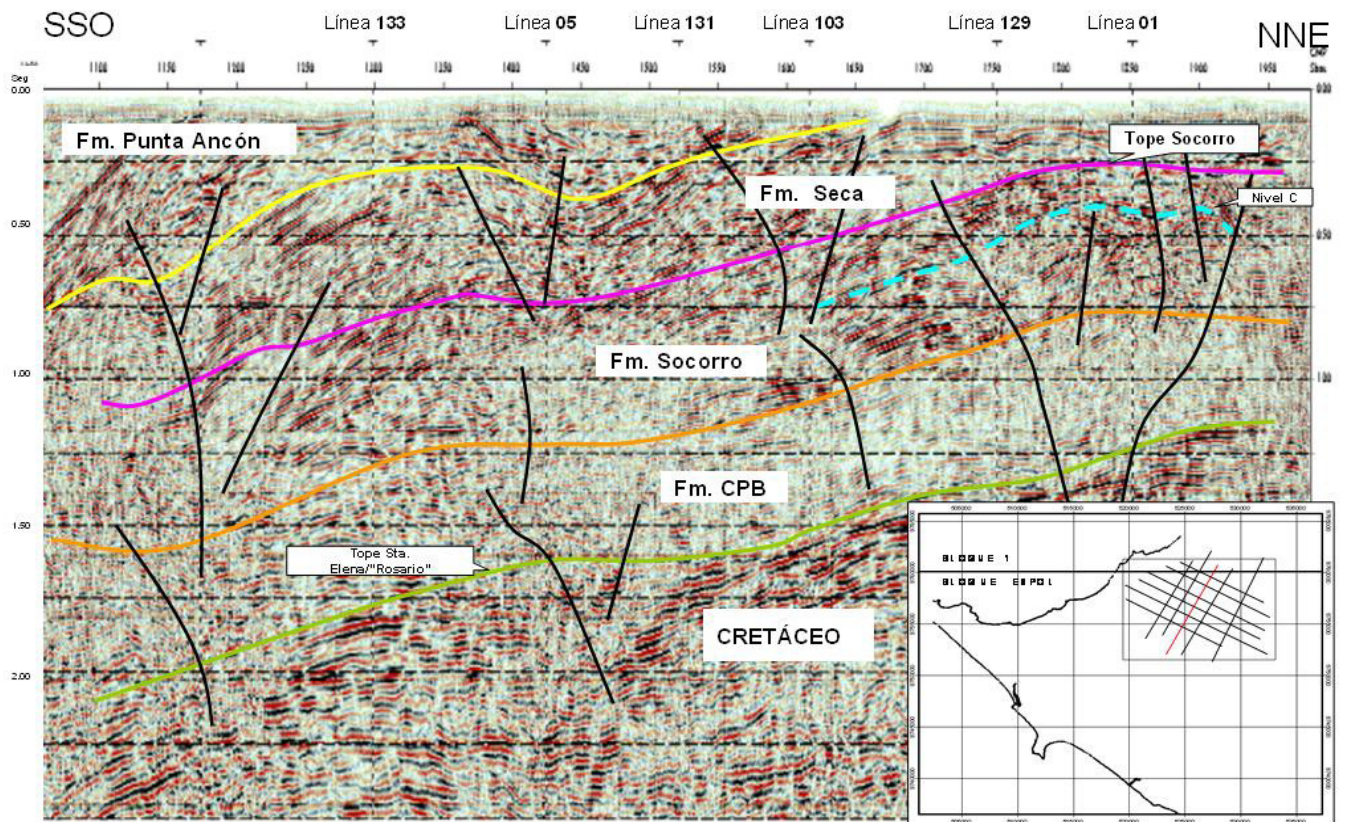
ANEXO B
Líneas sísmicas
pares



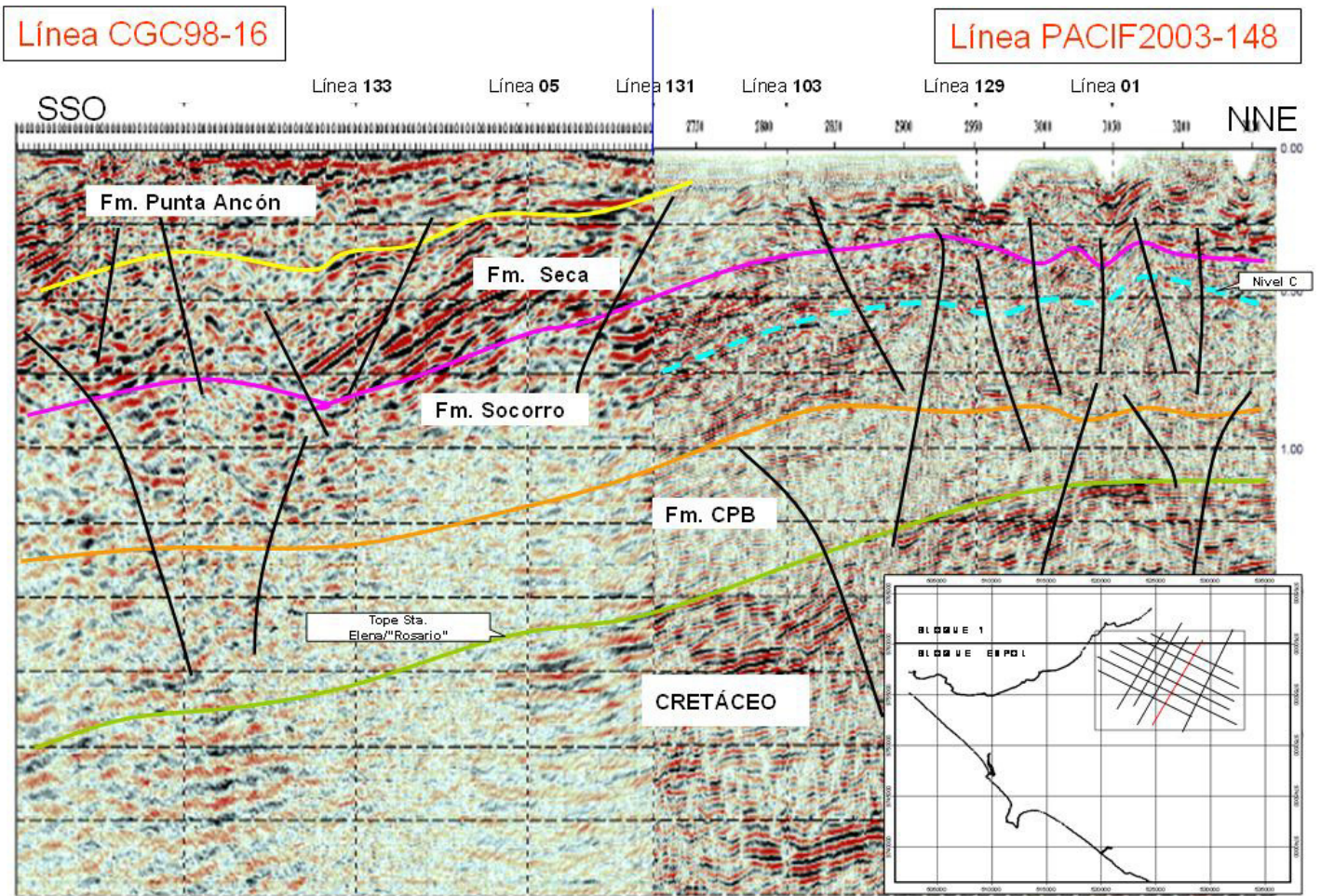
ANEXO B-1



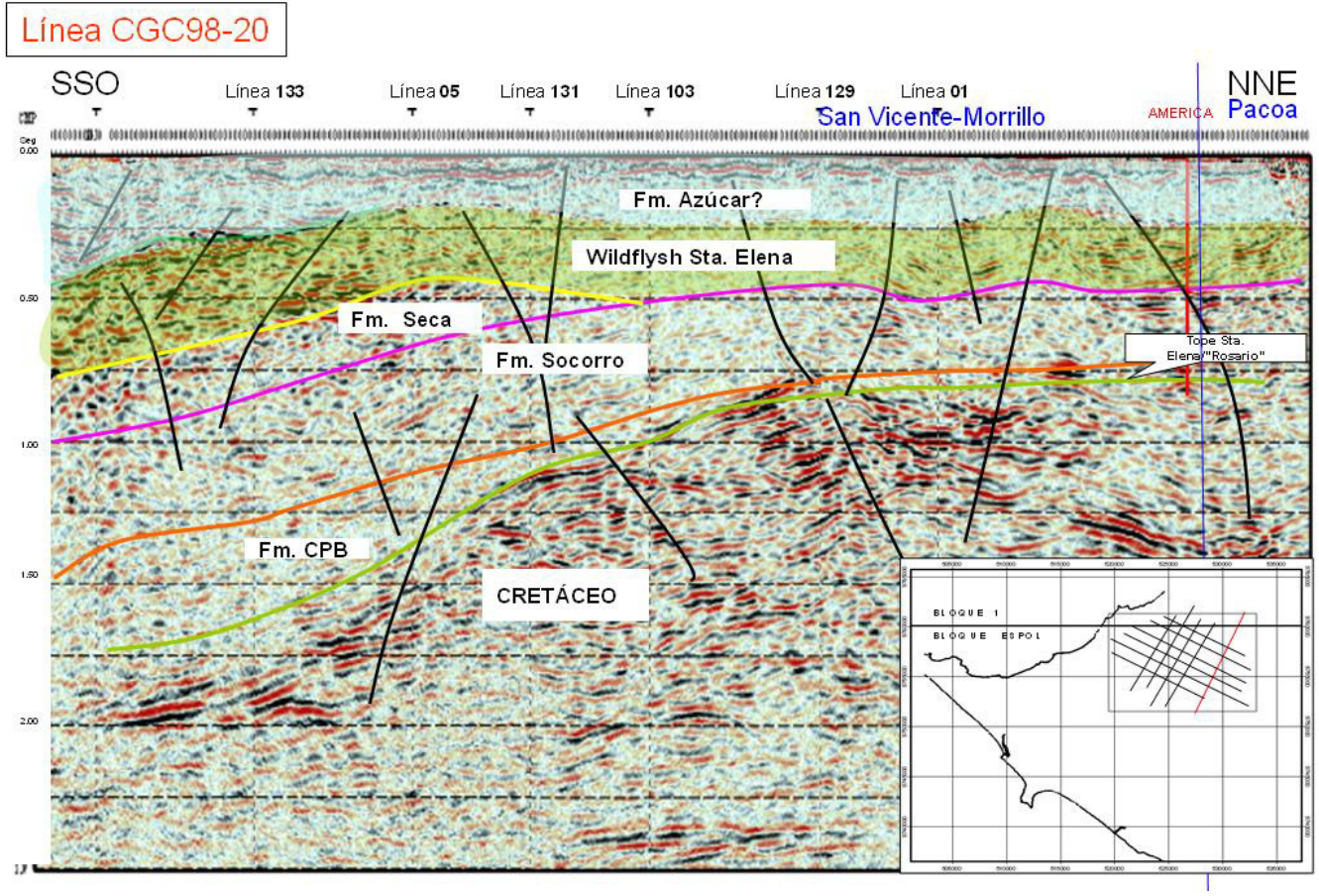
Línea PACIF2003-114



ANEXO B-3



ANEXO B-4



ANEXO B-5

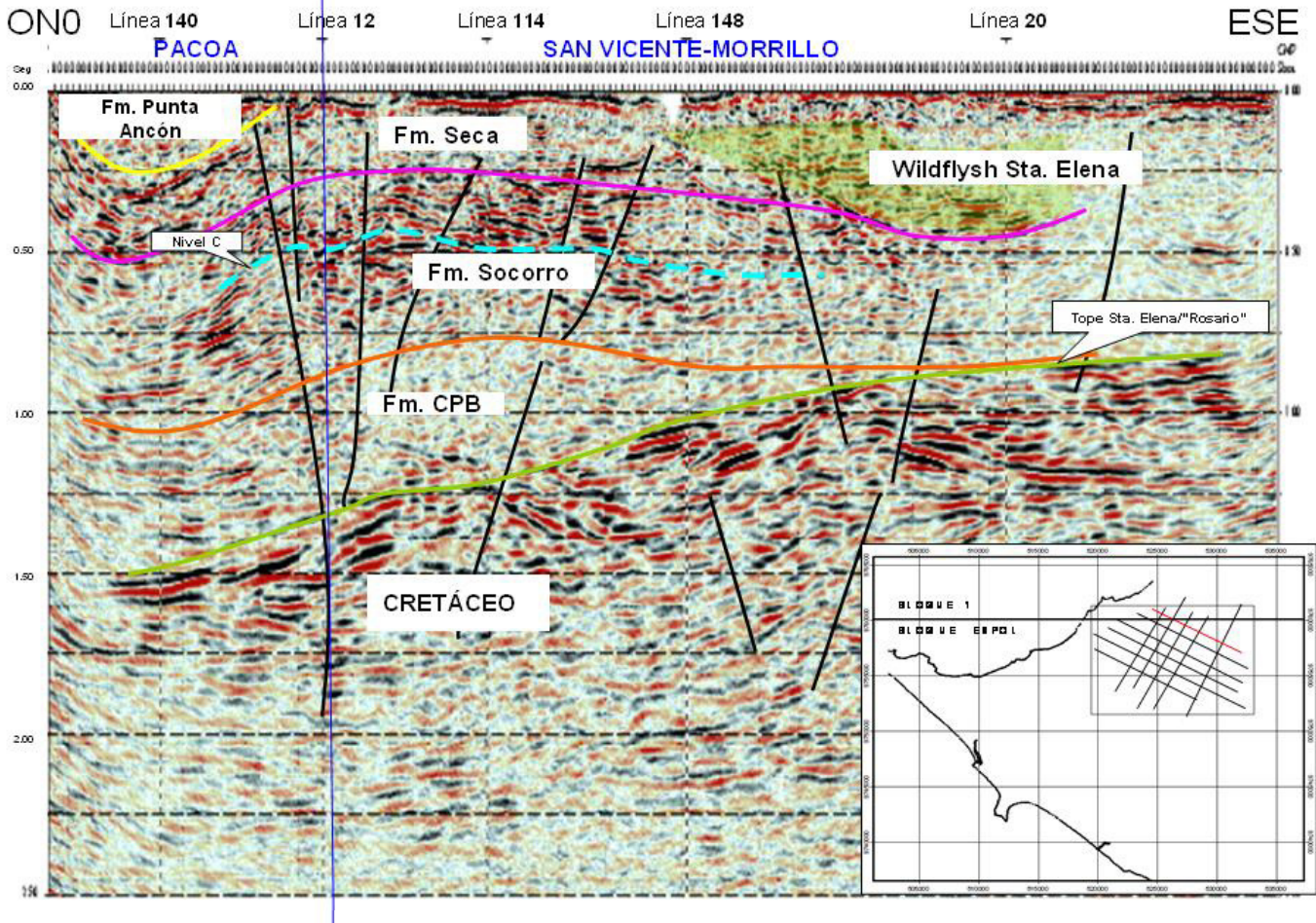


CIB-ESPOL

ANEXO C

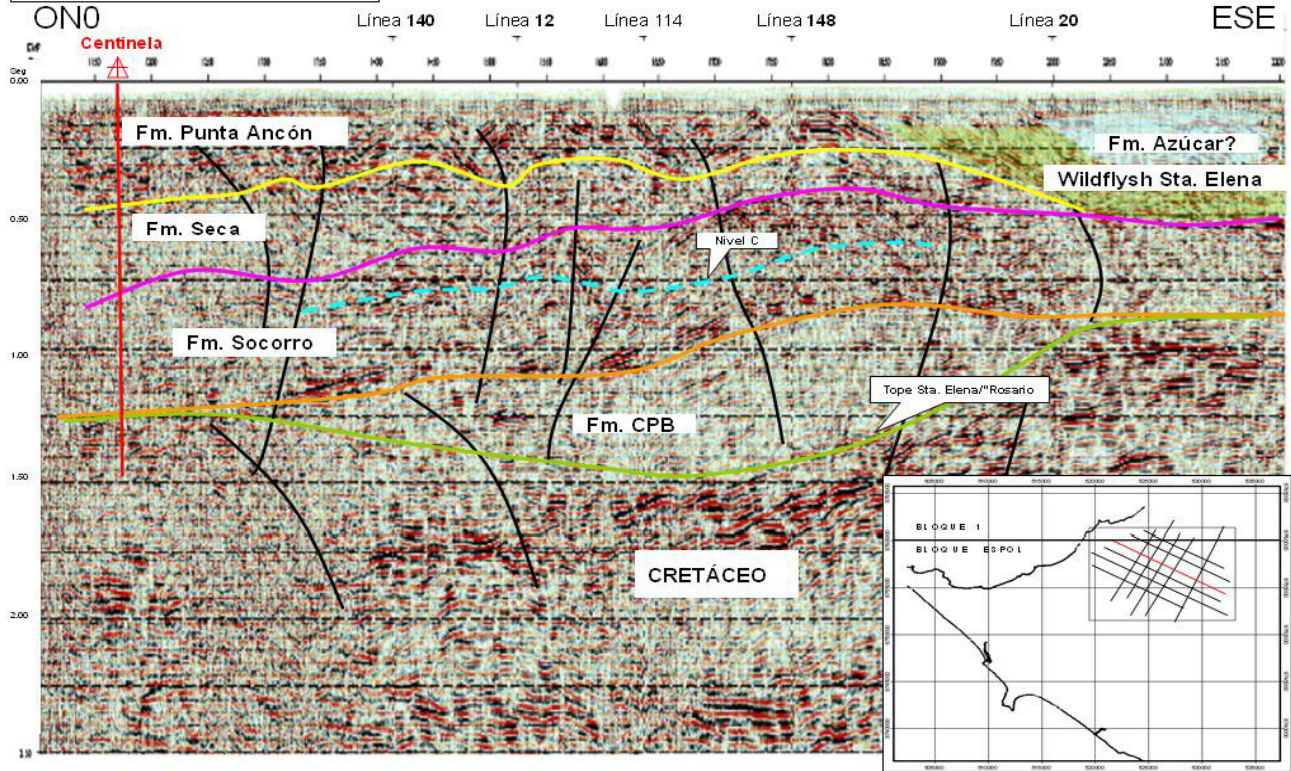
Líneas sísmicas impares

Línea CGC98-01

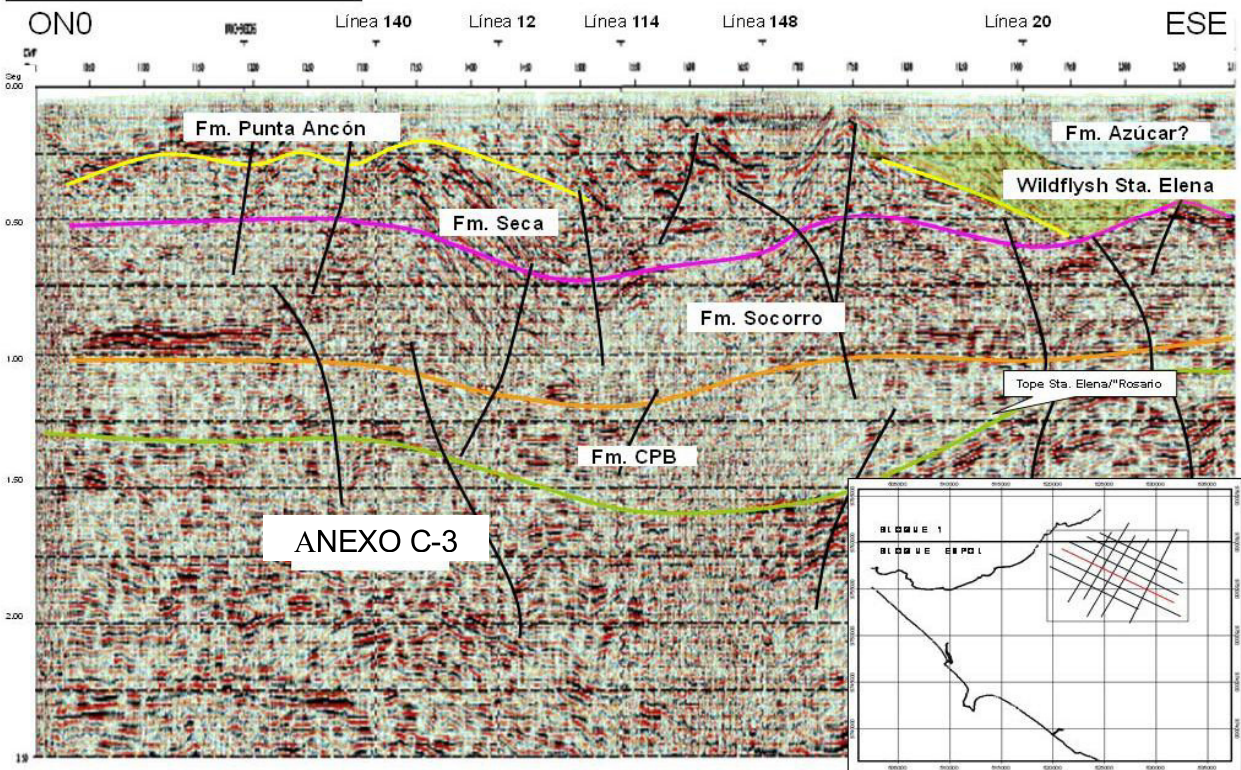


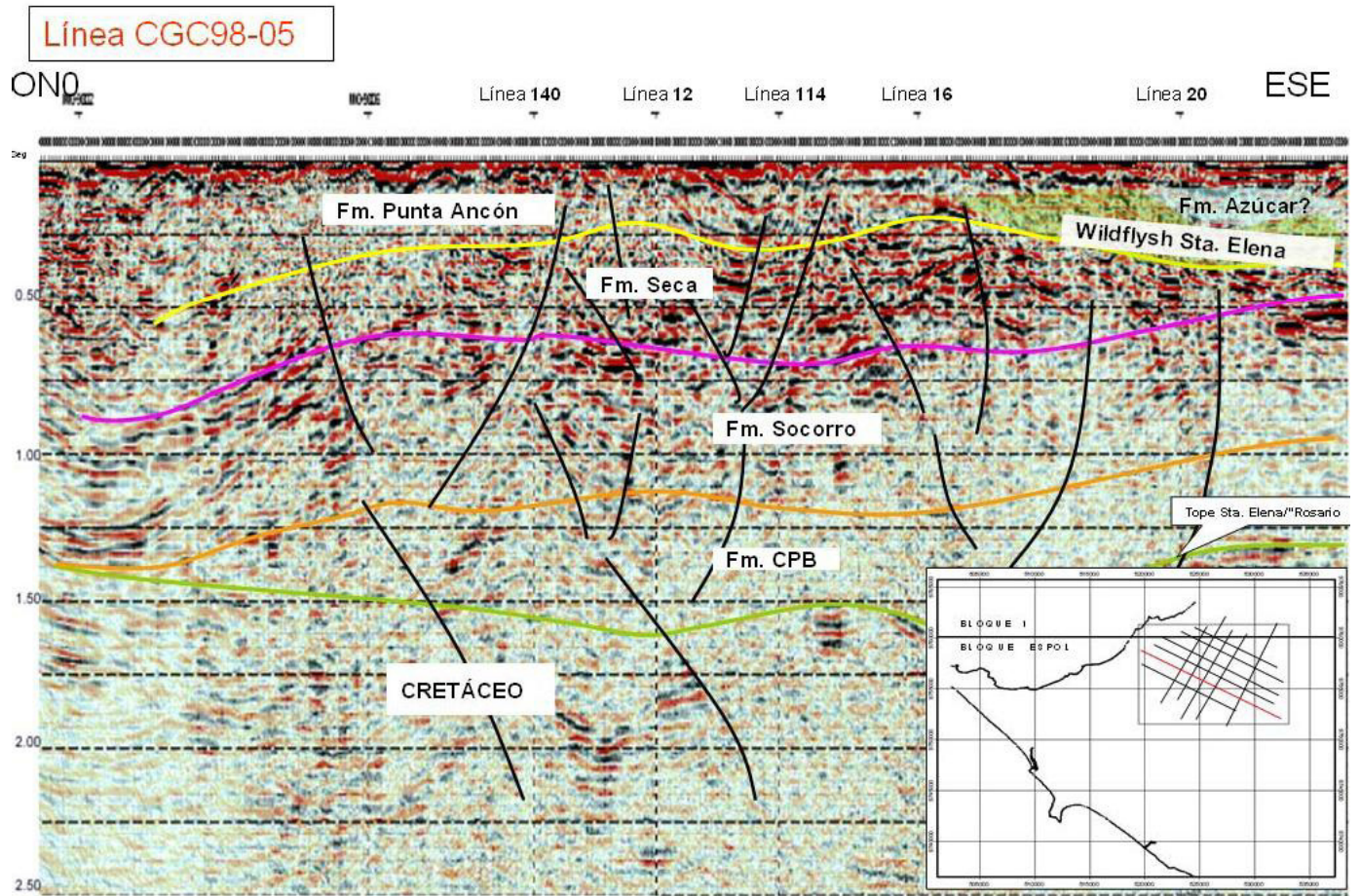
ANEXO C-1

Línea PACIF2003-103

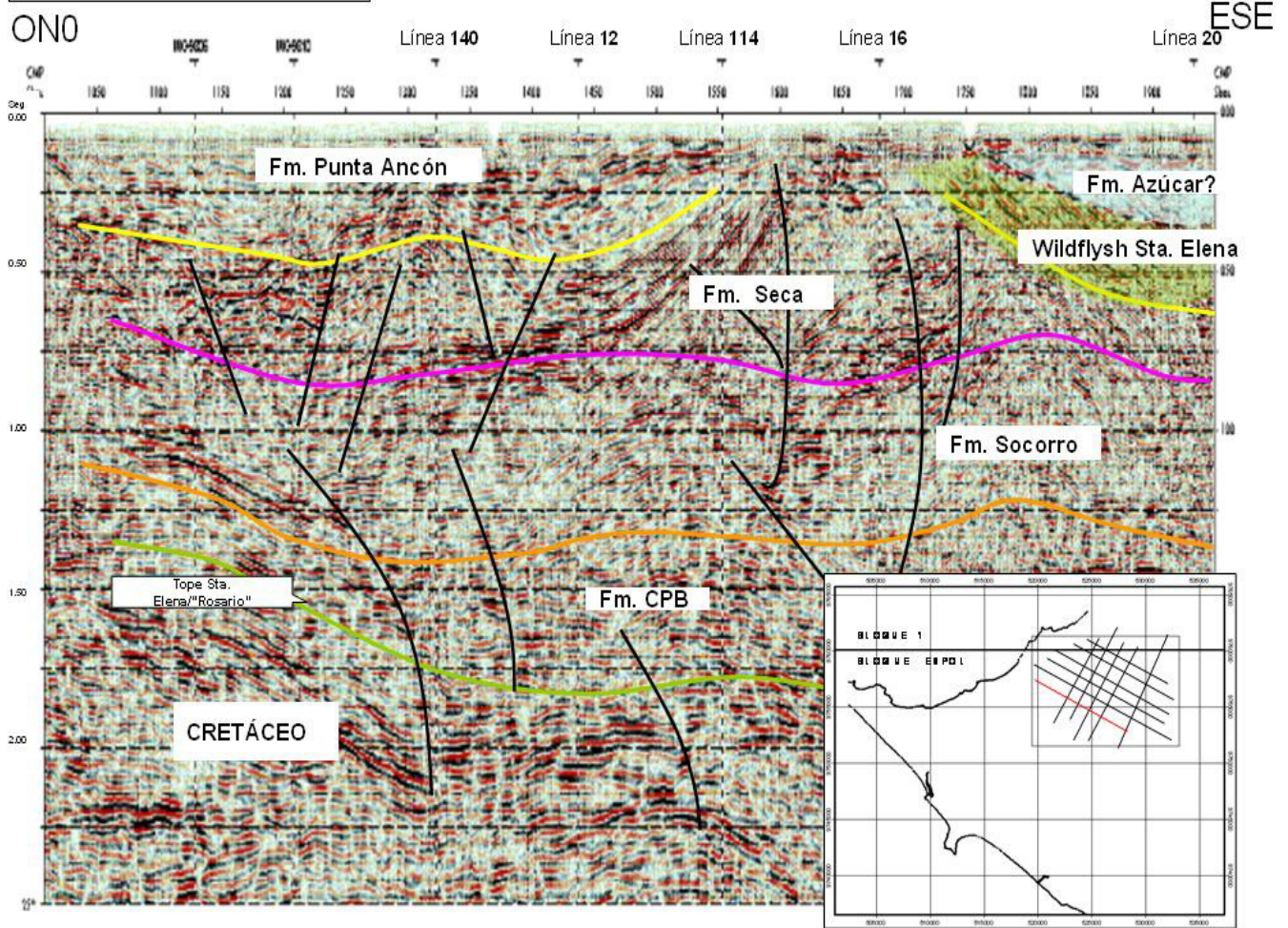


Línea PACIF2003-131

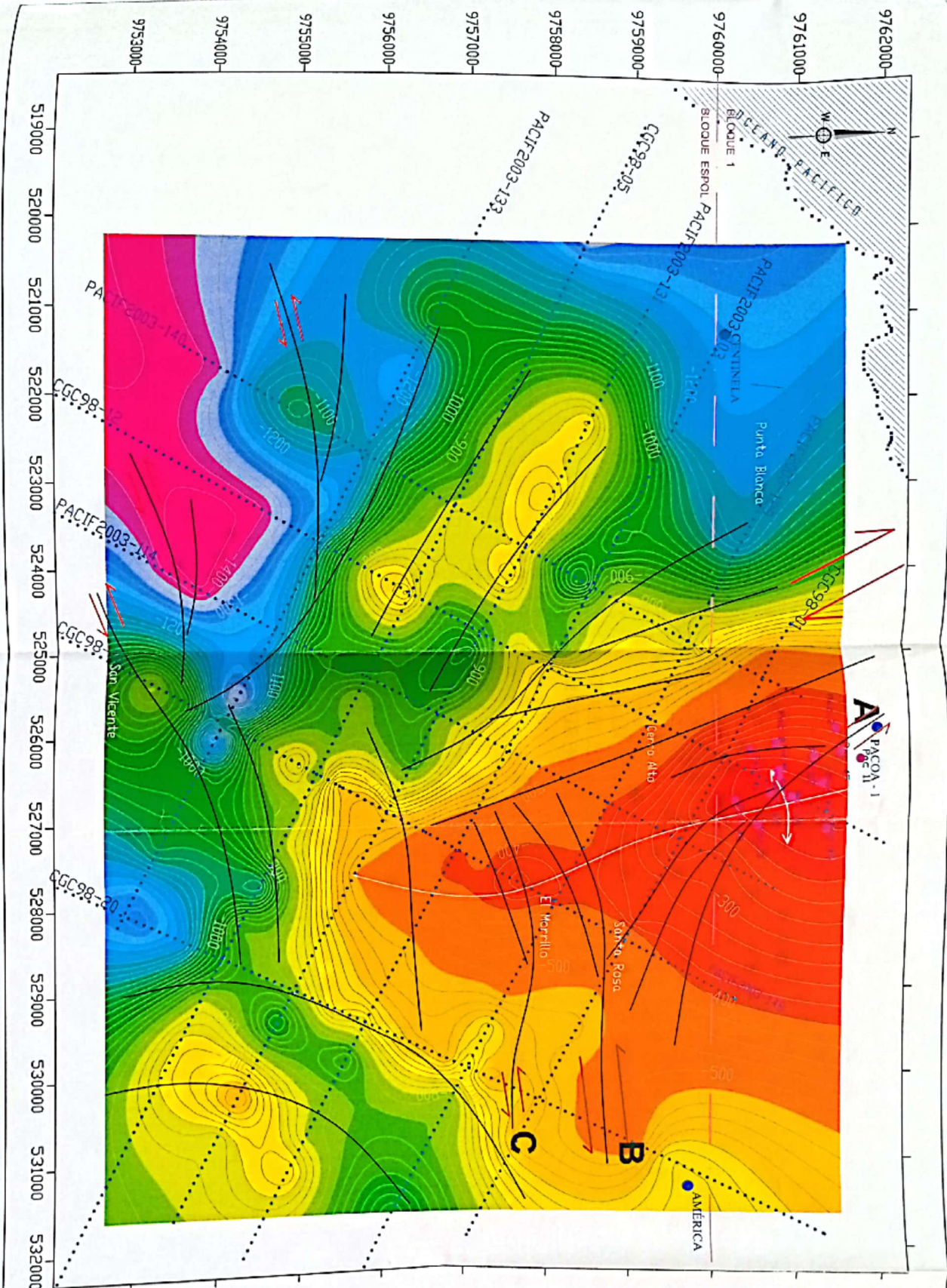




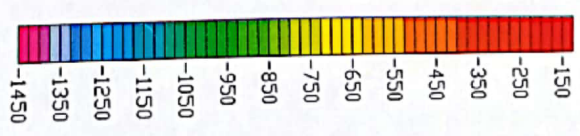
Línea PACIF2003-133



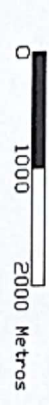
ANEXO G.- MAPA ESTRUCTURAL EN PROFUNDIDAD DEL TOPE DE LA FORMACION SOCORRO



Profundidad (metros)



Eje de anticlinal
 Fallas de desplazamiento de rumbo



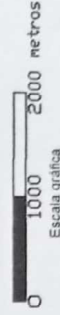
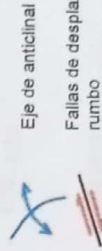
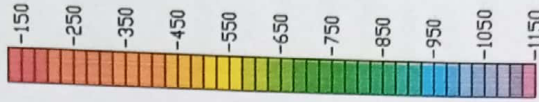
Escala: 1:50.000
 Ci: 25 metros





BIBLIOTECA FICT
ESPOL

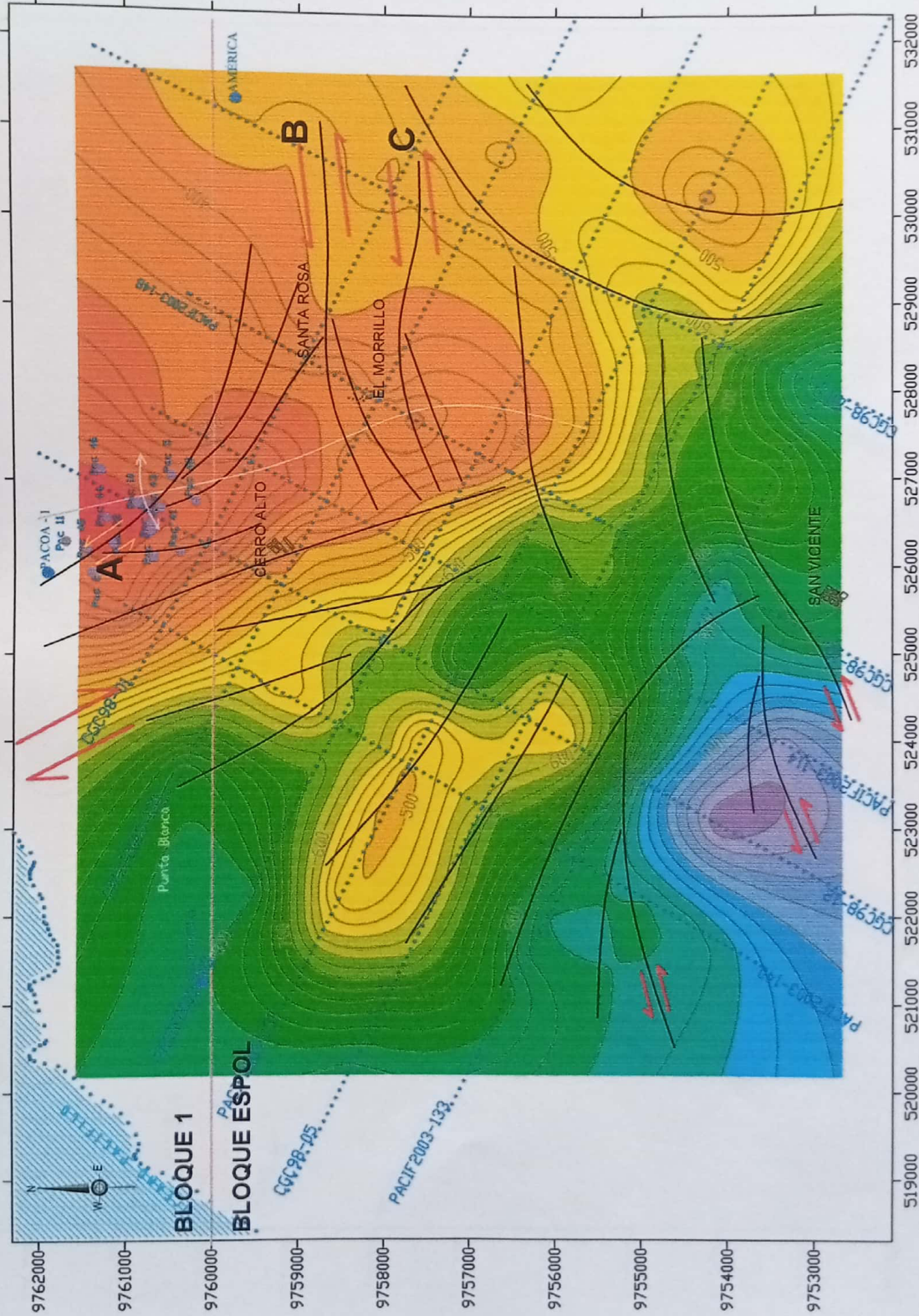
Tiempo (milisegundo)



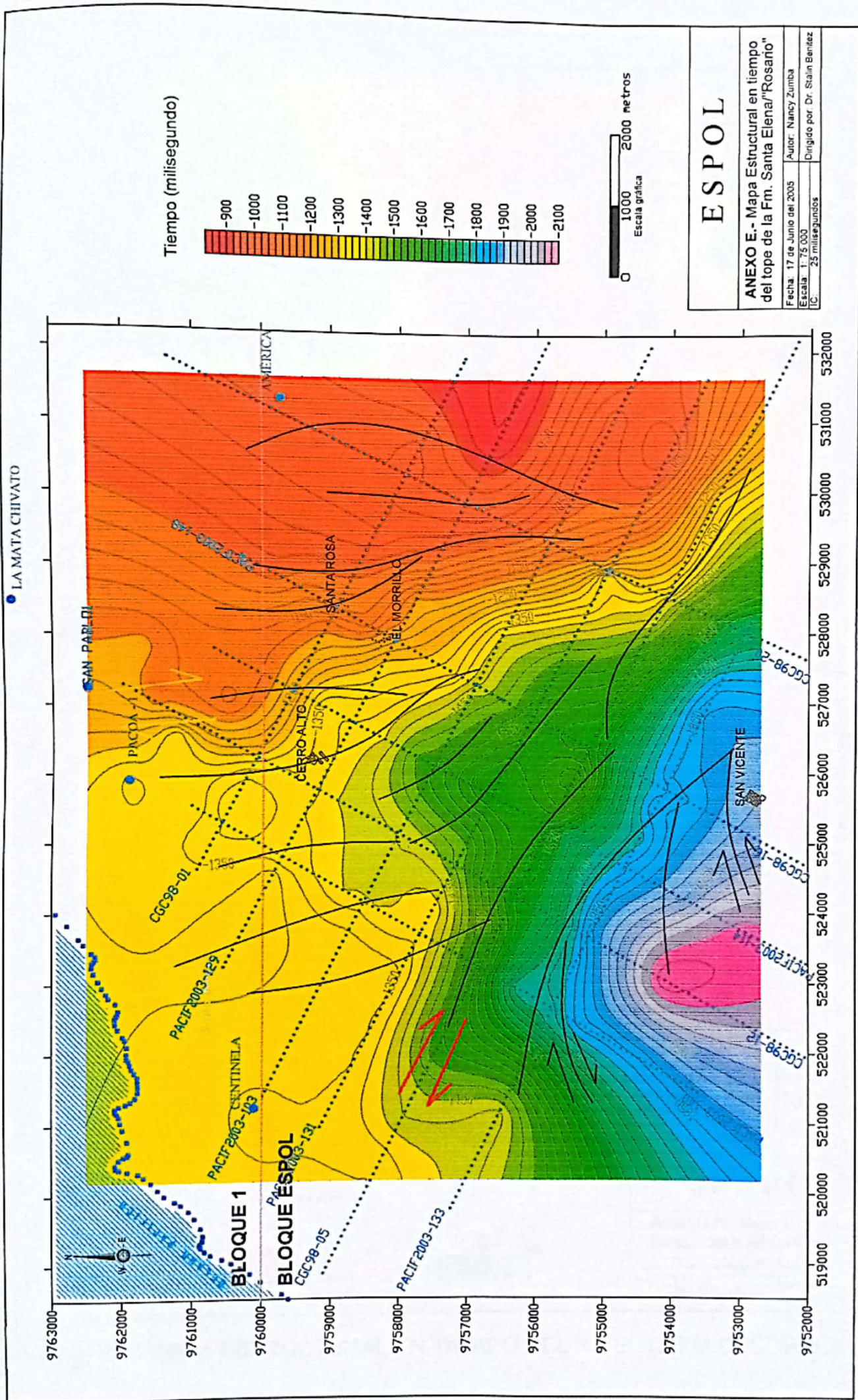
ESPOL

ANEXO D.- Mapa Estructural en tiempo del tope de la Fm. Socorro

Fecha: 17 de Junio del 2005 Autor: Nancy Zumba
Escala: 1:75,000 Original por Dr. Stalin Benitez
[C]: 25 milisegundos

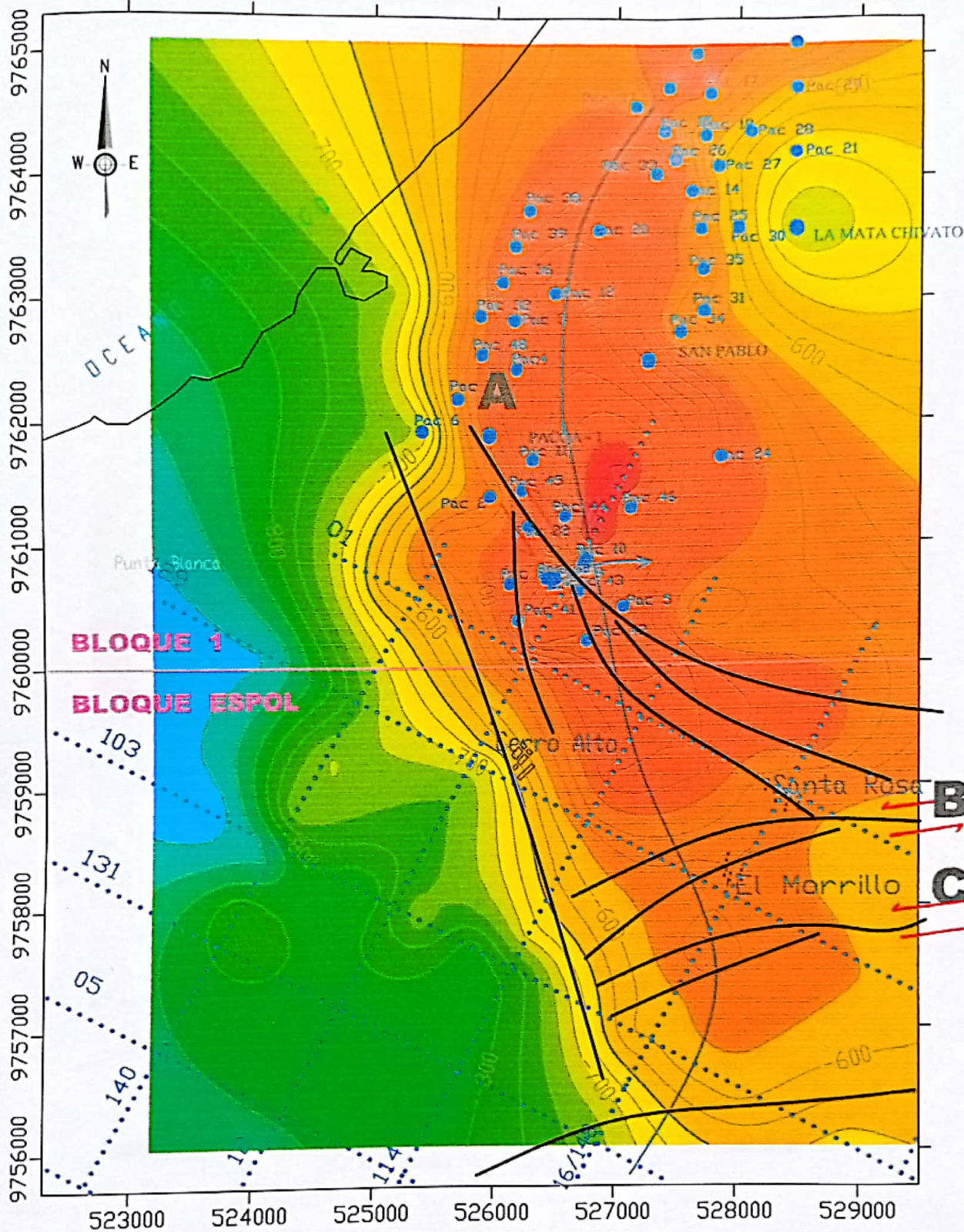


ANEXO D.- MAPA ESTRUCTURAL EN TIEMPO DEL TOPE DE LA FM. SOCORRO

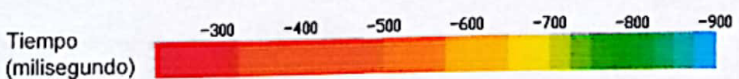




BIBLIOTECA F
ESPOL



- Eje de anticlinal
- Fallas de desplazamiento de rumbo

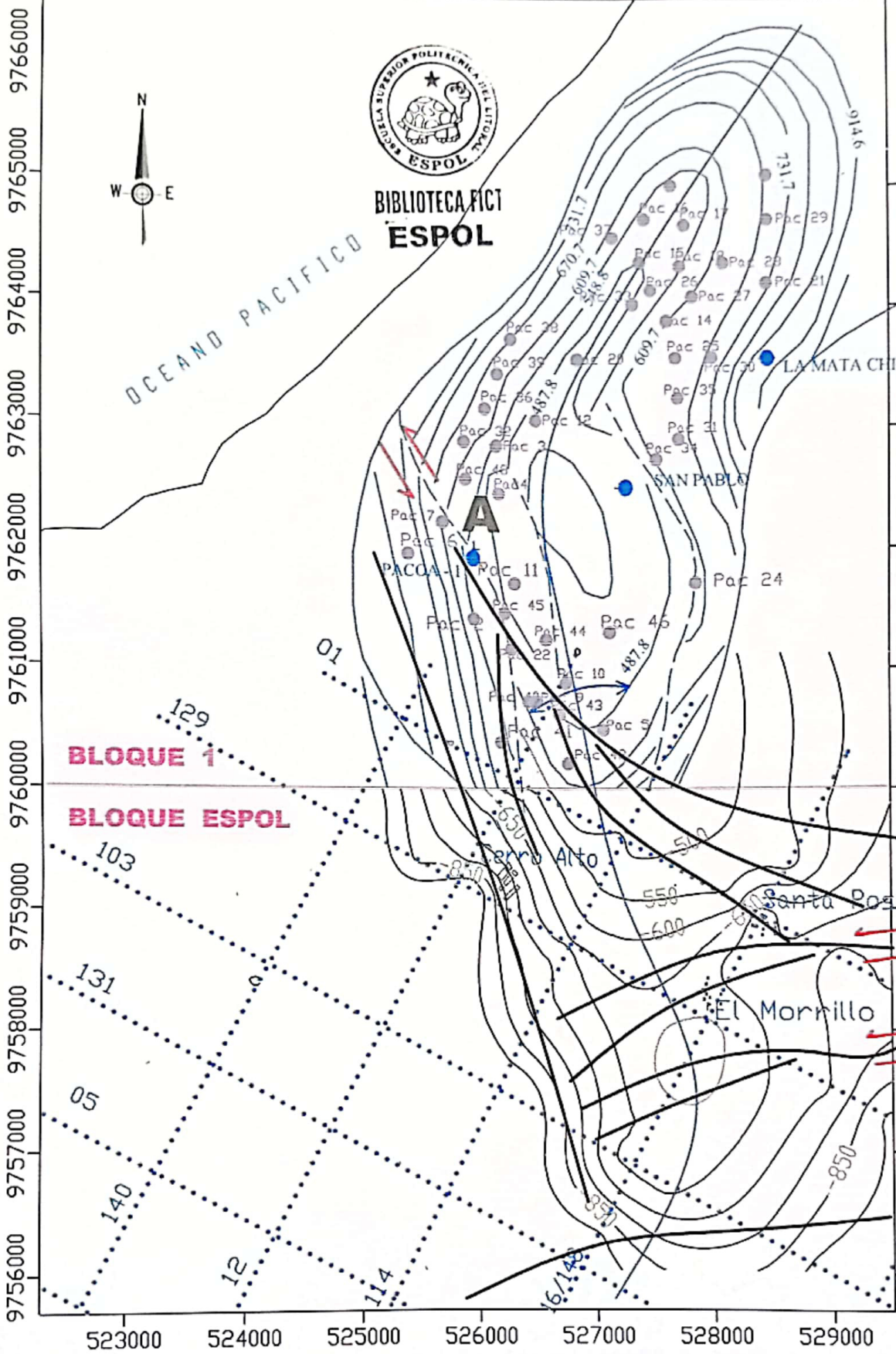


ESPOL

ANEXO F.- Mapa Estructural en tiempo del nivel C (Fm. Socorro)

Fecha: 17 de Junio del 2005	Autor: Nancy Zumba
Escala: 1:50.000	Dirigido por: Dr. Stalin Benitez
IC: 25 milisegundos	

ANEXO F.- MAPA ESTRUCTURAL EN TIEMPO DEL NIVEL C (FM.SOCORRO)



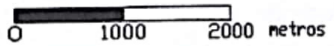
BIBLIOTECA FICT
ESPOL



BLOQUE 1

BLOQUE ESPOL

- nivel c interpretado por el Bloque 1
- nivel c del Bloque ESPOL
- Eje de anticlinal
- Fallas de desplazamiento de rumbo
- Pozos Pacoa



ESPOL	
ANEXO I.- Mapa Estructural en profundidad del nivel C (Fm. Socorro)	
Fecha: 17 de Junio del 2005	Autor: Nancy Zumba
Escala: 1:50 000	Dirigido por: Dr. Stalin Benitez
IC: 50 metros	



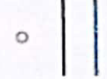
BIBLIOTECA FICT
ESPOL

SIMBOLOGÍA

- FM. PUNTA ANCÓN
- FM. SECA
- GRUPO AZÚCAR
- FM. SANTA ELENA

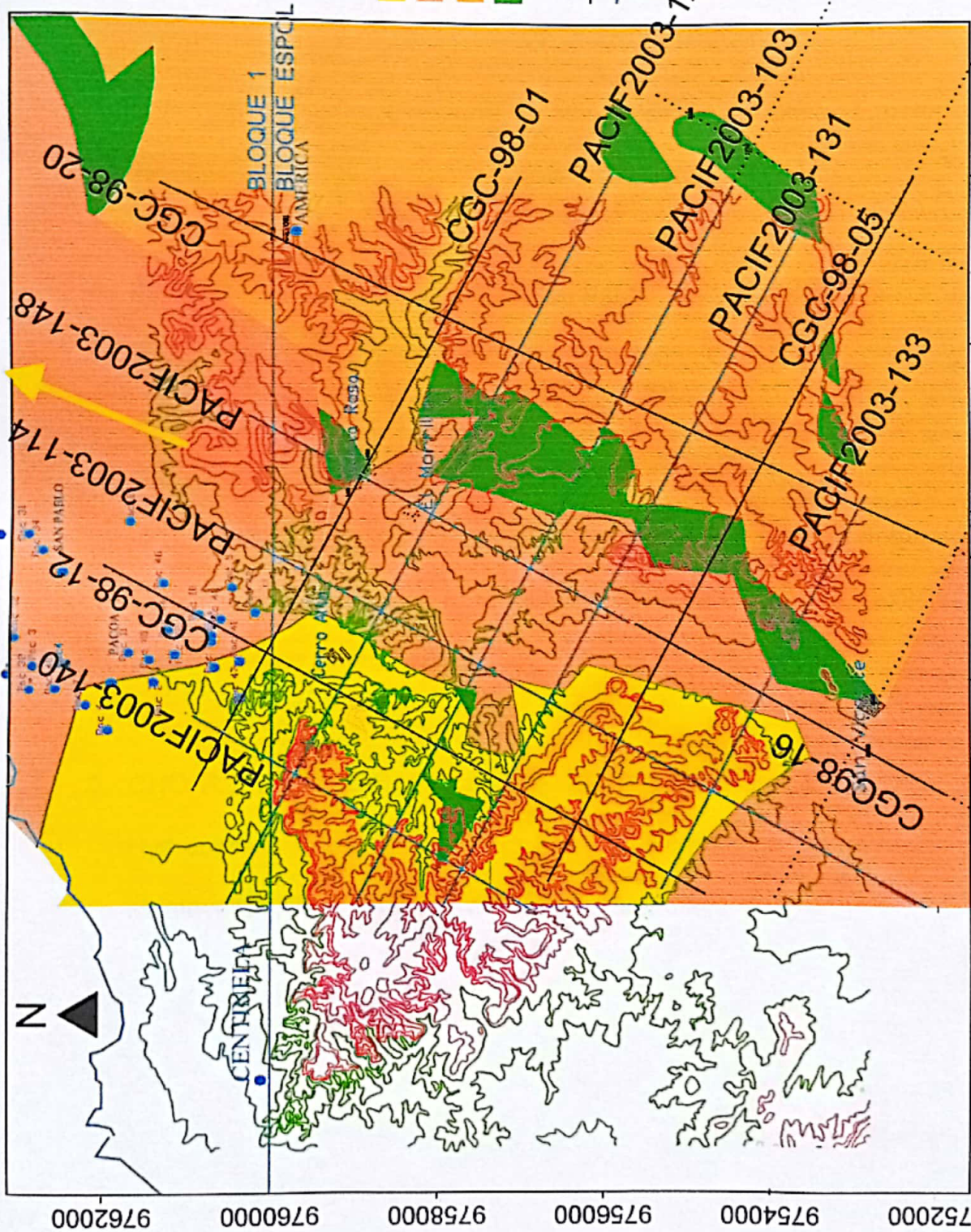


- POZOS PACOA
- SISMICA 1998
- SISMICA 2003



Curva topográfica de 10 - 40 m
 Curva topográfica de 50 - 80 m

Escala: 1:75.000



ANEXO J.- Superposición de topografía y afloramientos del área San Vicente-Morrillo

BIBLIOGRAFÍA

1. ALBUJA V. y FREIRE H., 1998. Comportamiento Estructural del Área Santa Paula-Punta Carnero. Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador, Quito.
2. BENÍTEZ S., 1995. Evolución Geodinámica de la Costa Ecuatoriana. Tesis de Doctorado, Universidad Joseph Fourier, Grenoble.
3. BROWN D.B., 1960. Geología de San Pablo-San Vicente-Atahualpa. Reporte Geológico No.116 de Anglo Ecuadorian Oilfields, Ancón.
4. CALAHORRANO A., 2005. Structure de la Marge du Golfe de Guayaquil et proprietes physiques du chenal de subduction, a partir de donnees de sismique marine reflexion et refraction. Tesis de Doctorado, Universidad Pierre et Marie Curie, París.
5. CHO R., BENITEZ S. y ALMEIDA J., 1999. Geological Study for The Hydrocarbon Potential in Pre-Eoceno Formations at Pacoa and Monteverde Areas. Reporte de Canada Grande.

6. EFFICASITAS 2002. Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto de Prospección Geofísica 2D y 3D en los campos petroleros “Gustavo Galindo” de la Península de Santa Elena.
7. FIGUEROA D., 1991. Curso de Geología Estructural aplicada a la Exploración de Hidrocarburos, TOMO 1 y TOMO 2.
8. GRANT GEOPHYSICAL, 2003. Reporte final de Sísmica 2D.
9. HELIO J., 2001. Estratigrafía de Sequências. Fundamentos e aplicações. Editado por la Universidad do Vale do Rio dos Sinos, Brazil.
10. HINOJOSA G., 1993. Exploración del Bloque-1. Informe de TRIPETROL Exploration y Production Co.
11. MALONE P., FANTIN F. y TUERO F., 1999. Informe Geológico y de Reservorio del Área Consorcio ESPOL-CGC.
12. MALONE P. y FANTIN F., 2000. Análisis Sismoestratigráfico Cretácico-Fm Azúcar y Grupo Ancón. Informe interno de CGC.

13. PGS ONSHORE INC, 2003. Reporte de propuesta para Adquisición Sísmica del Bloque ESPOL-PACIFPETROL.
14. ROSELLO E., 1996. Evaluación Geoestructural del Bloque Santa Elena Reporte interno de CGC.
15. ROSBACO J., 2001. Taller para la unificación de criterios en la evaluación de reservas. Curso de capacitación, REPSOL-YPF.
16. APUNTES DE GEOFÍSICA.