

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y
METALÚRGICA**



**POTENCIAL GENERADOR DE HIDROCARBUROS Y
DISTRIBUCIÓN DE LAS SECUENCIAS CRETÁICAS
COSTA AFUERA (OFFSHORE) DEL PERÚ
CENTRO-NORTE (LIMA – CHICLAYO)**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR:
DIEGO FERNANDO TIMOTEO MARTÍNEZ**

**ASESOR:
Dr. Ing. VICTOR SANZ PARRA**

**Lima – Perú
2013**

DEDICATORIA

A mis padres Fernando y Edita, y a mi hermana Evelyn por enseñarme con el ejemplo que la vida se construye en base a amor, fe, y mucho esfuerzo...gracias por ser lo más importante en mi vida.

***A la memoria de Fernando Timoteo,
Elsa Timoteo y Serafín Martínez.***

AGRADECIMIENTOS

El estudio titulado: "POTENCIAL GENERADOR DE HIDROCARBUROS Y DISTRIBUCIÓN DE LAS SECUENCIAS CRETÁICAS COSTA AFUERA (OFFSHORE) DEL PERÚ CENTRO-NORTE (LIMA – CHICLAYO)", no habría sido posible sin el apoyo de la Compañía SAVIA PERU S.A.; por ello mi mayor agradecimiento al Gerente de Exploración Ing. Pedro Alarcón Medina por la oportunidad brindada para el desarrollo de la Tesis.

A mis asesores académicos, Msc. Darwin Romero e Ing. Kiko Valencia por el asesoramiento, las observaciones, críticas y sugerencias para llevar a buen término este trabajo de Tesis.

A los profesionales del Departamento de Exploración de SAVIA PERU S.A., Ings. Enrique Gonzáles, Edwin Mendiolaza, Víctor Delgado, Diego Venturo, Fritz Palacios, Aníbal Lajo y Johnathan Soto, por la ayuda desinteresada y discusión de ideas que permitieron enriquecer la presente Tesis.

A los profesionales de ALPASER, Ing. Cesar Alava, Tec. Luis Lozano y Tec. David Orellana por el soporte en los diferentes trabajos de dibujo y diseño para la presente Tesis.

Así mismo agradezco de manera especial al Msc. Javier Jacay y a mis amigos Enrique Biminchumo, David Quispe Alcalá, Jorge Jiménez, Gilber Garay y Víctor Montes por sus consejos, críticas, sugerencias y apoyo durante el trabajo de campo realizado durante el desarrollo de la Tesis.

Del mismo modo hago llegar mis más sinceros agradecimientos a las autoridades de la UNI, en las personas del Dr. Víctor Sanz Parra e Ing. Marco Duque, por la asesoría, revisión y facilidades brindadas para culminar este estudio.

Finalmente y no siendo menos importante agradezco a mis padres Fernando Timoteo y Edita Martínez, a mi hermana Evelyn Timoteo y a toda mi familia, por su apoyo desinteresado, críticas, sugerencias y comprensión brindada durante el desarrollo de la presente Tesis.

RESUMEN

El área de estudio comprende la Cuenca Salaverry costa afuera, la franja costera y parte de las estribaciones; y se extiende con rumbo NO – SE entre las latitudes de Lima y Chiclayo. Evidencia diferentes afloramientos de petróleo (*oil seeps*) en sus alrededores (Cuenca Trujillo), como también shows de petróleo en los pozos Morsa 1-X, Lobos 1-X y ODP-679, lo cual revela la existencia de al menos un Sistema de Petróleo activo en los alrededores de la Cuenca Salaverry.

Sus afloramientos poseen registro desde el Jurásico hasta el Cenozoico y el 65% de ellos corresponden a rocas Cretácicas que podrían correlacionarse con las formaciones Cretácicas del Noroeste, que conforman los Sistemas de Petróleo de las Cuencas Talara, Sechura y Lancones.

La integración de los datos litoestratigráficos y cronológicos (fósiles y dataciones) definen un marco cronoestratigráfico para el Cretácico que permite diferenciar 3 secuencias estratigráficas de segundo orden: **Secuencia del Cretácico Inferior (en adelante SCI)**, conformada por el Gpo. Morro Solar y Gpo. Goyllarisquizga, **Secuencia Albiana (en adelante SAL)**, conformada por las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo, las facies sedimentarias del Gpo. Casma y las Fms. Pamplona-Atcogongo como sus equivalentes laterales; y **Secuencia del Cretácico Superior (en adelante SCS)**, conformada por los Gpos. Pulluicana-Quilquiñan. El análisis estructural integrado permite reconocer 5 dominios estructurales onshore-offshore: Dominio NE-SO, Dominio Rumbo Andino, Dominio Deflexión de Huancabamba, Dominio NO-SE y Dominio E-O; que definen Altos y Bajos Estructurales, Cuencas y zonas de aporte. La integración de todos los datos geológicos, interpretación de datos sísmicos y geopotenciales; permite proponer un modelo para la distribución actual *onshore-offshore* de cada Secuencia Cretácica diferenciada, que brinda las locaciones con mayor probabilidad de encontrar remanentes e interpreta su posible espesor.

De esta manera el estudio del potencial geológico-económico de las Secuencias Cretácicas se enfoca en el potencial generador de hidrocarburos. Los resultados de los análisis geoquímicos de 248 muestras, pertenecientes a unidades Cretácicas, integrados con los datos geológicos permiten interpretar que la **SAL**, representada por las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo, posee regular potencial para generar hidrocarburos (24 muestras, promedios: TOC = 1.44% wt, Tmax = 428°C y Ro = 3.10%). En tanto que la **SCI**, representada por la Fm. La Herradura (3 muestras, promedios: TOC = 0.51% wt, Tmax = 524°C y Ro = 2.60%) y la Fm. Santa-Carhuaz (12 muestras, promedios: TOC = 0.90% wt, Tmax = 315°C y Ro =

4.62%), y la **SCS**, representada por los Gpos. Pulluicana-Quilquiñan (TOC = [0.03% – 0.29%] wt, con un promedio de 0.10% wt), no poseen potencial para generar hidrocarburos.

Dentro de la **SAL** la Fm. Pariatambo manifiesta las mejores condiciones como “potencial roca generadora” (17 muestras, TOC = [0.05% – 4.37%] wt, con promedio de 1.22% wt, Tmax = [392 – 462]°C, con promedio de 425°C; y sin datos de Ro) y la interpolación evidencia que las curvas de isovalores de TOC poseen una tendencia positiva hacia offshore sobre la zona norte del “Graben Casma-Malabrigo”, proponiendo una potencial cocina en dicha área de la Cuenca Salaverry.

Como elementos adicionales del Sistema de Petróleo: la **SCI**, representada por las facies de areniscas dentro de la Fm. Salto del Fraile, Fm. Marcavilca y Gpo. Goyllarisquiza; posee potencial como reservorio naturalmente fracturado y la **SCS** posee potencial como roca de soterramiento, roca sello y posiblemente como reservorio naturalmente fracturado.

ABSTRACT

The study area comprises offshore Salaverry Basin, the coast and part of the foothills, and it extends with NW – SE strike between Lima and Chiclayo latitudes. It evidence different oil seeps in its surrounding (Trujillo Basin), as well as oil shows in wells Morsa 1-X, Lobos 1-X and ODP-679, which reveals the existence of at least one active Petroleum System in surrounding Salaverry Basin. Its outcrops have record from Jurassic to Cenozoic and 65% of them correspond to Cretaceous rocks that might correlate with Cretaceous formations of Northwest, which compose Petroleum Systems of Talara, Sechura and Lancones Basins.

The integration of lithostratigraphic and chronological data (fossils and dating) define a chronostratigraphic framework for the Cretaceous that allows differentiate three second order stratigraphic sequences: **Lower Cretaceous Sequence (hereinafter SCI)**, formed by Morro Solar and Goyllarisquizga Groups, **Albian Sequence (hereinafter SAL)**, formed by Inca–Chulec–Pariatambo Formations, sedimentary facies of Casma Group and Pamplona–Atocongo Formations as its lateral equivalents; and **Upper Cretaceous Sequence (hereinafter SCS)**, formed by Pulluicana–Quilquiñan Groups. The integrated structural analysis allows recognize five onshore-offshore structural domains: NE–SW Domain, Andean Strike Domain, Huancabamba Deflection Domain, NW–SE Domain and E–W Domain, which define structural highs and lows, basins and source areas.

The integration of all geological data, seismic and geopotential data interpretation, allows propose a model for onshore-offshore present day distribution of each differentiated Cretaceous Sequence, which provide the locations most likely to find remnants and interpret its possible thickness.

Thus the study of geological–economic potential of the Cretaceous Sequences focuses on hydrocarbon generating potential. The geochemical analysis results of 248 samples belong to Cretaceous units integrated with geological data allow interpret that the **Albian Sequence**, represented by the Inca–Chulec–Pariatambo Formations, holds regular potential to generating hydrocarbons (24 samples, averages: TOC = 1.44% wt, Tmax = 428°C y Ro = 3.10%). While the **Lower Cretaceous Sequence**, represented by La Herradura (3 samples, averages: TOC = 0.51% wt, Tmax = 524°C y Ro = 2.60%) and Santa–Carhuaz Formations (12 samples, averages: TOC = 0.90% wt, Tmax = 315°C y Ro = 4.62%), and the **Upper Cretaceous Sequence**, represented by Pulluicana–Quilquiñan Groups (TOC = [0.03% – 0.29%] wt, with average of 0.10% wt), don't have potential to generating hydrocarbons.

Within the **Albian Sequence** the Pariatambo Formation manifests the better conditions as "potential source rock" (17 samples, TOC = [0.05% – 4.37%] wt, with average of 1.22% wt, Tmax = [392 – 462]°C, with average of 425°C; and without Ro data) and the interpolation evidence that the isovalues curves of TOC have a positive trend towards offshore on the northern zone of "Casma–Malabrigo Graben", suggesting a potential kitchen in this area of Salaverry Basin.

As additional elements of Petroleum System: the **Lower Cretaceous Sequence**, represented by sandstone facies within the Salto del Frayle and Marcavilca Formations and Goyllarisquizga Group, has potential as naturally fractured reservoir (NFR); and the **Upper Cretaceous Sequence** has potential as overburden rock, seal rock and likely as naturally fractured reservoir (NFR).

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 PRESENTACIÓN.....	20
1.2 PLANTEAMIENTO DEL TEMA Y ALCANCES.....	20
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.4 METODOLOGIA.....	24
1.5 ESTADO DEL ARTE.....	32
1.5.1 Antecedentes.....	32
1.5.2 Data geoquímica de afloramientos.....	34
1.6 BASE TEORICA.....	35

CAPITULO II: MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 UNIDADES MORFOESTRUCTURALES.....	56
2.1.1 Talud continental.....	56
2.1.2 Plataforma Continental.....	57
2.1.3 Cordillera de la Costa.....	57
2.1.4 Franja Costera.....	60
2.1.5 Estribaciones Occidentales.....	60
2.2 ESTRATIGRAFIA GENERALIZADA.....	61
2.2.1 Basamento de la plataforma continental y zona costera.....	61
2.2.2 Paleozoico.....	64
2.2.3 Mesozoico.....	65
2.2.3.1 Triásico – Jurásico.....	65
2.2.3.2 Cretácico.....	65
2.2.4 Cenozoico.....	67
2.2.5 Depósitos Cuaternarios.....	67

2.3 ROCAS INTRUSIVAS.....	69
2.4 CONTEXTO TECTONICO.....	72
CAPITULO III: ESTRATIGRAFIA DEL CRETACICO DE LA COSTA Y PLATAFORMA CONTINENTAL DEL CENTRO-NORTE DEL PERU	
3.1 GEOLOGIA DE LA COSTA Y ESTRIBACIONES (ONSHORE).....	76
3.1.1 Depósitos del Cretácico Inferior (DCI).....	79
3.1.2 Depósitos Albianos (DAL).....	88
3.1.3 Depósitos del Cretácico Superior (DCS).....	98
3.2 GEOLOGIA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL (OFFSHORE).....	112
3.3 INTERPRETACION SISMICA REGIONAL.....	116
3.3.1 Sección Sísmica 93-30.....	119
3.3.2 Sección Sísmica 93-40.....	120
3.3.3 Sección Sísmica 93-45.....	121
3.3.4 Sección Sísmica 93-49.....	122
3.3.5 Sección Sísmica 93-64.....	123
3.3.6 Sección Sísmica 93-68.....	124
3.4 DIFERENCIACION DE LOS DEPOSITOS CRETACICOS.....	125
3.4.1 Edad de las Unidades Cretácicas.....	126
3.4.2 Chart Cronoestratigráfico Regional NO-SE.....	131
3.4.3 Secuencias Cretácicas diferenciadas.....	134
CAPITULO IV: GEOLOGIA ESTRUCTURAL EN COSTA, ESTRIBACIONES Y PLATAFORMA CONTINENTAL	
4.1 RASGOS ESTRUCTURALES EN COSTA, ESTRIBACIONES Y PLATAFORMA CONTINENTAL.....	138
4.1.1 Principales Sistemas de Fallas (Master Faults).....	139
4.1.2 Zonas de Plegamientos.....	152

4.1.3 Posibles Estructuras Volcánicas.....	154
4.2 SECCIONES ESTRUCTURALES OFFSHORE – ONSHORE.....	156
4.2.1 Sección Estructural Pimentel (93-30).....	156
4.2.2 Sección Estructural Puerto Morin (93-45).....	159
4.2.3 Sección Estructural Puerto Supe (93-64).....	162
4.3 CONFIGURACION ESTRUCTURAL DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL Y COSTA.....	164
CAPITULO V: DISTRIBUCION DE LAS SECUENCIAS CRETACICAS	
5.1 ANALISIS DE LA DISTRIBUCION.....	169
5.1.1 Isópacos Onshore.....	171
5.1.2 Interpretación de las Secuencias en Offshore.....	177
5.1.2.1 Conversión de tiempo a profundidad.....	181
5.1.2.2 Isópacos Offshore.....	183
5.1.3 Distribución Offshore-Onshore de las Secuencias Cretácicas.....	186
CAPITULO VI: POTENCIAL GENERADOR DE HIDROCARBUROS DE LAS SECUENCIAS CRETACIAS	
6.1 INTRODUCCION.....	197
6.2 MUESTREO GEOQUIMICO DE AFLORAMIENTOS (Datos recopilados).....	199
6.3 CARACTERIZAICON GEOQUIMICA – GEOLOGICA DE LAS SECUENCIAS CRETACIAS.....	201
6.4 RESULTADOS DEL PROYECTO.....	219
CONCLUSIONES.....	220
Referencias Bibliográficas.....	222

ANEXOS

Anexo I: Columnas Estratigráficas

Columna 1: Columna estratigráfica esquemática – Sector Cerro Mauro

Columna 2: Columna estratigráfica – Sector Reque (Poblado Las Delicias)

Columna 3: Columna estratigráfica de Punta Cherrepe

Columna 4: Columna estratigráfica de Cerros Cherrepe

Columna 5: Columna estratigráfica de Cerros Puemape

Columna 6: Columna estratigráfica Sector Huacho – Chancay

Columna 7: Columna estratigráfica – 10 Km. al Sur de Huarmey

Anexo II: Datos de espesor de las Secuencias Cretácicas

Anexo III: Datos geoquímicos de las Secuencias Cretácicas

Anexo IV: Listado de Muestras de afloramiento

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de ubicación.....	23
Figura 1.2. Diagrama de Flujo (DF) utilizado en la presente Tesis para la etapa previa al reconocimiento de campo.....	26
Figura 1.3. DF utilizado en la presente Tesis para la etapa del trabajo de campo.....	28
Figura 1.4. DF utilizado en la presente Tesis para la etapa posterior al trabajo de campo.....	31
Figura 1.5. Concepto de secuencia limitada por discordancias. Potencialmente las discordancias se restringen a los márgenes de la cuenca (tomado de Catuneanu, 2006).....	37
Figura 1.6. Concepto de secuencia definido en Sísmica y Estratigrafía Secuencial. Las conformidades correlativas permiten trazar secuencias a través de toda la cuenca (Tomado de Catuneanu, 2006).....	38
Figura 1.7. Controles tectónicos y orbitales sobre fluctuaciones eustáticas (Tomado de Vail et. al., 1977, y Miall, 2000; en Catuneanu, 2006).....	40
Figura 1.8. Sistema jerárquico basado en la duración de los ciclos estratigráficos (Tomado de Vail et. al., 1991; en Catuneanu, 2006).....	40
Figura 1.9. Clasificación de la ciclicidad según los rangos y escalas, con indicación del intervalo de tiempo de recurrencia (Tomado de Einsele, 1992).....	41
Figura 1.10. Sistema jerárquico basado en la magnitud del cambio del nivel de base (Tomado de Catuneanu, 2006).....	43
Figura 1.11. El Sistema de Petróleo y su extensión temporal y espacial.....	47
Figura 1.12. Esquema de la materia orgánica y los principales parámetros registrados durante el análisis de Pirolisis Rock-eval.....	51
Figura 1.13. Diagramas, tablas y relaciones utilizadas en el estudio de la calidad y madurez de la roca generadora.....	53
Figura 2.1. Unidades Morfoestructurales del Perú. La Sección A-A' es mostrada en la Figura 2.2 (Tomado de Reporte interno Savia, 2010).....	59
Figura 2.2. Sección A-A', donde se muestra los dos altos de basamento reconocidos en offshore: Outer Shelf High (OSH) y el Upper Slope Ridge (USR).....	60
Figura 2.3. Zona de subducción poco convencional planteada por Chew (2007), para resolver el problema de los dos arcos magmáticos Ordovícicos.....	63

Figura 2.4. Paleosutura planteada por Ramos (2009), para resolver la presencia de los dos arcos Ordovícicos.....	63
Figura 2.5. Mapa geológico regional del área de estudio.....	66
Figura 2.6. Columna estratigráfica de la parte norte del área de estudio (modificado de Savia, 2009).....	68
Figura 2.7. Columna estratigráfica de la parte sur del área de estudio.....	68
Figura 2.8. Batolito Costero – Segmento Trujillo, con sus respectivos datos radiométricos.....	70
Figura 2.9. Batolito Costero – Segmento Lima, con sus respectivos datos radiométricos.....	70
Figura 2.10. Tres diferentes estadios de la subducción durante el Mesozoico – Cenozoico, relacionado a la velocidad de roll-back y a los procesos generados. (Modelo conceptual tomado de Ramos, 2009b).....	74
Figura 3.1. Imagen de satélite que muestra la ubicación de las zonas de estudio que comprenden el presente proyecto de Tesis.....	78
Figura 3.2. Mapa compilado de la Plataforma Continental. Muestra la información utilizada en la interpretación offshore: pozos, islas, líneas sísmicas, gravimetría regional, afloramientos adyacentes a la cuenca, y trabajos previos.....	113
Figura 3.3. Sección geológica esquemática mostrando la configuración de la Cuenca Trujillo–Salaverry (Tomado de Repsol, 2000).....	115
Figura 3.4. Cuenca Salaverry actual. Conformada por la Cuenca Mesozoica (Cuenca del margen continental peruano) y la Cuenca Cenozoica Salaverry. Sobre el lado inferior derecho se puede observar el mapa índice de la Sección Sísmica 93–45.....	115
Figura 3.5. Block diagrama del dispositivo paleogeográfico del margen continental peruano durante el Cretácico (Modificado de Megard (1979) en Romero et. al., 2010).....	116
Figura 3.6. Sección Sísmica 93-30.....	119
Figura 3.7. Sección Sísmica 93-40.....	120
Figura 3.8. Sección Sísmica 93-45.....	121
Figura 3.9. Sección Sísmica 93-49.....	122
Figura 3.10. Sección Sísmica 93-64.....	123
Figura 3.11. Sección Sísmica 93-68.....	124

Figura 3.12. Unidades Cretácicas en el área de estudio y sección cronoestratigráfica regional Lima – Chiclayo (línea de color amarillo).....	125
Figura 3.13. Columna estratigráfica del Gpo. Morro Solar y sus fósiles característicos (Rivera, 1975; Palacios, 1992; Aleman et. al., 2006, Romero et. al., 2005).....	126
Figura 3.14. Variación lateral E–O de la estratigrafía del Gpo. Goyllarisquizga sobre la costa y estribaciones occidentales del área de estudio (Benavides, 1956; Romero, 2008; Timoteo, 2010).....	127
Figura 3.15. Columna estratigráfica del Gpo. Goyllarisquizga y sus fósiles característicos (Benavides, 1956; Wilson, 1963 y Jacay, 2004).....	127
Figura 3.16. Columna estratigráfica de las Fms. Pamplona–Atocongo y sus fósiles característicos (Palacios, 1992; Romero et. al., 2005).....	128
Figura 3.17. Columna estratigráfica del Gpo. Casma y sus fósiles característicos (Vela & Canepa, 1973 en Palacios 1992; Myers, 1974; Guevara, 1980).....	129
Figura 3.18. Columna estratigráfica de las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo y sus fósiles característicos (Benavides, 1956).....	129
Figura 3.19. Columna estratigráfica de los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan y sus fósiles característicos (Benavides, 1956).....	130
Figura 3.20. Chart cronoestratigráfico regional NO-SE, que atraviesa la zona costera por Lima, Chancay, Huacho, Chimbote; y las estribaciones occidentales a partir de Trujillo, cruzando el Valle del Río Chicama y llegando hasta el norte de Chiclayo. Sobre el lado inferior derecho se puede observar el mapa índice de la Sección cronoestratigráfica.....	132
Figura 3.21. Marco cronoestratigráfico para el Cretácico. La integración de los datos litoestratigráficos, características sedimentológicas, fósiles y algunos rasgos tectónicos y eustáticos han permitido diferenciar 3 secuencias de segundo orden.....	136
Figura 4.1. Sistemas de Fallas de mayor influencia en las Estribaciones Occidentales y Cordillera (estructuras recopiladas y validadas).....	142
Figura 4.2. Fallas onshore interpretadas sobre la Zona Costera, Estribaciones y Cordillera.....	147
Figura 4.3. Metodología utilizada para reconocer la magnitud de las fallas que afectan tanto al Basamento Pre–Mesozoico como a la Secuencia Mesozoica.....	148

Figura 4.4. Mapa de contornos al Tope del Paleozoico con los principales dominios estructurales offshore.....	150
Figura 4.5. Zonas de plegamiento diferenciadas a lo largo de Franja Costera y Estribaciones del área de estudio.....	153
Figura 4.6. Mapa de intensidad magnética total en offshore y posibles paleocentros volcánicos a lo largo de la Franja Costera y Estribaciones Occidentales entre Chiclayo y Huacho.....	155
Figura 4.7. Sección Estructural Pimentel (93-30).....	158
Figura 4.8. Sección Estructural Puerto Morín (93-45).....	161
Figura 4.9. Sección Estructural Puerto Supe (93-64).....	163
Figura 4.10. Mapa esquemático que muestra las principales Cuencas onshore, Altos Estructurales y Grábenes offshore, definidos en el presente estudio sobre la Plataforma Continental, Costa, Estribaciones Occidentales y Cordillera.....	166
Figura 4.11. Mapa Estructural integrado de la Plataforma, Costa, Estribaciones y Cordillera del Perú Centro-Norte: en offshore corresponde al mapa de contornos estructural al Tope del Paleozoico en tiempo y en onshore, a las principales estructuras regionales.....	167
Figura 5.1. Esquema gráfico de los conceptos involucrados en la distribución geográfica de una determinada unidad estratigráfica.....	170
Figura 5.2. Mapa de distribución e isópacos onshore de la Secuencia del Cretácico Inferior.....	174
Figura 5.3. Mapa de distribución e isópacos onshore de la Secuencia Albiana.....	175
Figura 5.4. Mapa de distribución e isópacos onshore de la Secuencia del Cretácico Superior.....	176
Figura 5.5. Flujo de trabajo utilizado en la interpretación de los polígonos de distribución offshore de las Secuencias.....	178
Figura 5.6. Sección sísmica esquemática que muestra las 2 Secuencias estratigráficas generadas a partir de los 3 horizontes sísmicos interpretados en el offshore del área de estudio.....	179
Figura 5.7. Flujo de trabajo utilizado en la generación de mapas isócronos offshore y su respectivo match con los mapas isópacos onshore.....	180
Figura 5.8. Diagrama de adquisición de sísmica marina. Se muestra las trayectorias de la onda, producto de un solo disparo de una pistola de aire, hacia un cable con 5 hidrófonos (Tomado de http://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_seismology).....	181

Figura 5.9. Gráfico tiempo–profundidad esquemático, generado a partir de las velocidades y los tiempos de reflexión obtenidos en los check–shot de los pozos Lobos 1-X y Morsa 1-X.....	182
Figura 5.10. Esquema gráfico de la obtención matemática de los isópacos offshore, que carecen de coherencia geológica con los datos onshore.....	185
Figura 5.11. Esquema gráfico de la integración offshore–onshore a través del mapeo manual, siguiendo los criterios geológicos propuestos.....	185
Figura 5.12. Mapa de distribución e isópacos offshore-onshore de la Secuencia del Cretácico Inferior.....	189
Figura 5.13. Mapa de distribución e isópacos offshore-onshore de la Secuencia Albiana.....	193
Figura 5.14. Mapa de distribución e isópacos offshore-onshore de la Secuencia del Cretácico Superior.....	196
Figura 6.1. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento que poseen análisis geoquímicos. Se muestra gráficos de barras de TOC para cada Secuencia Cretácica.....	200
Figura 6.2. Diagramas con los resultados de las muestras analizadas de la Fm. La Herradura.....	205
Figura 6.3. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento de la Fm. La Herradura que poseen datos de TOC y Pirolisis Rock-eval.....	206
Figura 6.4. Diagramas con los resultados de las muestras analizadas de la Fm. Santa–Carhuaz.....	208
Figura 6.5. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento de la Fm. Santa-Carhuaz que poseen datos de TOC y Pirolisis Rock-eval.....	209
Figura 6.6. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento de los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan que poseen datos de TOC.....	211
Figura 6.7. Diagramas con los resultados de las muestras analizadas de las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo.....	213
Figura 6.8. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento de las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo que poseen datos de TOC y Pirolisis Rock-eval.....	214
Figura 6.9. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento de la Secuencia Albiana (Fm. Pariatambo) y los promedios de los resultados geoquímicos obtenidos según su locación de muestreo.....	216

Figura 6.10. Mapa de isovalores de wt% TOC de la Fm. Pariatambo. En offshore se observa el mapa estructural en tiempo al Tope del Paleozoico donde se representa la tendencia positiva del potencial generador con flechas de color negro.....

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Secuencias presentes en la interpretación sísmica offshore con sus respectivas unidades estratigráficas reconocidas en onshore.....	118
Tabla 2. Secuencias presentes en la interpretación sísmica offshore con sus respectivas unidades estratigráficas. Se muestra el posible espesor de las unidades estratigráficas no Cretácicas.....	183
Tabla 3. Clasificación de las muestras de afloramiento compiladas según la Secuencia Cretácica a la que pertenecen y el tipo de análisis realizado.....	199
Tabla 4. Resumen que muestra el análisis preliminar del total de muestras (248).....	202
Tabla 5. Resumen que muestra el análisis estadístico depurado de las muestras que poseen datos de Pirolisis Rock-eval.....	203
Tabla 6. Valores de TOC y Pirolisis Rock-eval obtenidos en las muestras de la Fm. La Herradura.....	205
Tabla 7. Valores de TOC y Pirolisis Rock-eval obtenidos de la Fm. Santa-Carhuaz.....	207
Tabla 8. Valores de TOC obtenidos en las muestras de los Gpos. Pulluicana-Quilquiñan.....	210
Tabla 9. Valores de TOC y Pirolisis Rock-eval obtenidos en las muestras de las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo.....	212

INDICE DE MAPAS

Mapa 1: Mapa geológico y reconocimiento del sector C° Mauro – C° Mirador.....	99
Mapa 2: Mapa geológico y reconocimiento del sector Chiclayo – Reque.....	100
Mapa 3: Mapa geológico y reconocimiento del sector de Cherrepe.....	101
Mapa 4: Mapa geológico y reconocimiento del sector de Pacasmayo.....	102
Mapa 5: Mapa geológico y reconocimiento del sector Pampas de Jaguey – Farrat (Valle del Río Chicama).....	103
Mapa 6: Imagen satelital 3D y reconocimiento en los alrededores de Farrat.....	104
Mapa 7: Mapa geológico y reconocimiento del sector Morro Solar – C° UNI – Pasamayo.....	105
Mapa 8: Mapa geológico y reconocimiento del sector de Talambo (Valle del Río Jequetepeque).....	106
Mapa 9: Mapa geológico y reconocimiento del sector de Puemape.....	107
Mapa 10: Mapa geológico y reconocimiento del sector Huacho – Chancay.....	108
Mapa 11: Mapa geológico y reconocimiento del sector C° Casuarinas.....	109
Mapa 12: Mapa geológico y reconocimiento del sector Huarmey – Punta Gramadal.....	110
Mapa 13: Mapa geológico y reconocimiento del sector Saltur – San Nicolás.....	111

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 PRESENTACIÓN

El presente trabajo se titula: “Potencial Generador de Hidrocarburos y Distribución de las Secuencias Cretácicas Costa afuera (Offshore) del Perú Centro-Norte (Lima – Chiclayo):” y se desarrolló dentro del Programa de Tesis que posee la Compañía Petrolera SAVIA PERU S.A. para el periodo 2009-2010. El estudio fue asesorado y auspiciado en su totalidad por el Departamento de Exploración de SAVIA PERU S.A.

SAVIA PERU S.A. nace en Febrero del 2010 con la nueva administración de una importante empresa local de exploración y producción de hidrocarburos. Dicha administración es liderada por dos reconocidas empresas petroleras estatales: ECOPETROL de Colombia y KNOC de Corea del Sur. Posee un área de operación offshore que alcanza los 7.6 millones de hectáreas, una producción de más de 14 mil barriles de petróleo y gas por día y se encuentra presente en 6 regiones del país: Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima e Ica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL TEMA Y ALCANCES

La explotación de hidrocarburos en la Costa y Plataforma Continental peruana proviene del Noroeste del Perú donde tenemos más de un Sistema Petrolero Activo, en los cuales las rocas Cretácicas conforman los potenciales elementos de dichos sistemas y dentro de las cuales la Fm. Muerto, de edad Albiano, y la Fm. Redondo, de edad Campaniano-Maestrichtiano, han sido consideradas como potenciales rocas generadoras (Chalco, 2000;

González & Alarcón, 2002; Fildani et. al., 2005); y las facies de areniscas dentro del Gpo. Copa Sombrero, de edad Albiano-Turoniano?, han sido estudiadas y caracterizadas como potencial reservorio naturalmente fracturado (Valencia & Uyen, 2002).

Este potencial hidrocarburífero se manifiesta en las Cuencas Talara, Sechura y en la Cuenca Lancones, en tanto al sur de Chiclayo tenemos una gran exposición de rocas Cretácicas, sobre la Franja Costera y Cordillera Occidental, que poseen características sedimentológicas, estratigráficas, cronológicas y algunos aspectos tectónicos que harían posible una correlación regional con las rocas Cretácicas del Noroeste.

Si esta hipótesis es coherente con la geología, se abriría un nuevo frente de exploración hidrocarburífera por rocas Cretácicas, de manera similar a lo que ocurrió en los años 60' cuando se realizaron campañas exploratorias por objetivos Cretácicos y Paleozoicos en el área de Portachuelo (Sur de Negritos).

Si bien al Sur de Chiclayo las rocas Cretácicas se han reconocido y estudiado en onshore; hacia offshore predominan los estudios del Cenozoico, siendo PARSEP (2001) uno de los pocos que le da importancia económica a las rocas Pre-Cenozoicas, pero aún sin diferenciarlas.

En tal sentido, para develar el potencial por hidrocarburos de las rocas Cretácicas se plantea el presente tema de investigación, que pretende diferenciar los Depósitos Cretácicos, conocer su distribución actual en el Offshore del Perú Central, entre Lima y Chiclayo; y determinar su potencial generador de hidrocarburos.

La zona de estudio comprende el Offshore, la franja costera y en parte las estribaciones occidentales del Perú Centro-Norte, desde Lima por el Sur hasta Chiclayo por el Norte. El Offshore está representado principalmente por la Cuenca Salaverry de 484 Km. de largo por un ancho que varía entre 46 Km. (extremo Sur) y 86 Km. (extremo Norte), posee rumbo andino NO-SE y se extiende desde la Playa Hornillos en la provincia de Huaura, departamento de Lima, hasta el balneario de Jequetepeque ubicado en la provincia de Pacasmayo, departamento de La Libertad. También comprende la zona más meridional de la Cuenca Sechura (Chiclayo – Cherrepe) y la Cuenca Lima (Huacho – Lima) (Figura 1.1).

Las limitaciones del presente estudio son: no haber podido visitar la mayor cantidad de secciones tipo de las rocas Cretácicas mencionadas en las referencias, debido a la gran extensión del área de estudio y al tiempo limitado; también se utilizó una moderada cantidad de líneas sísmicas regionales (16) para la interpretación Offshore. Así mismo es importante mencionar que para el presente estudio no se ha realizado un muestreo geoquímico para la caracterización de roca generadora, por lo cual se han tomado los datos geoquímicos del “Estudio de investigación geoquímica del potencial de hidrocarburos – Lotes del Zócalo y de Tierra”, realizado por PERUPETRO-LCV (1999).

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los principales objetivos de la investigación son:

- Diferenciar las Unidades Cretácicas en Secuencias, según estratigrafía secuencial.
- Interpretar la distribución actual de las Secuencias Cretácicas en el offshore del Perú Centro-Norte, entre Lima y Chiclayo.
- Interpretar los posibles espesores de las Secuencias Cretácicas diferenciadas.
- Determinar el potencial generador de hidrocarburos de cada Secuencia Cretácica.

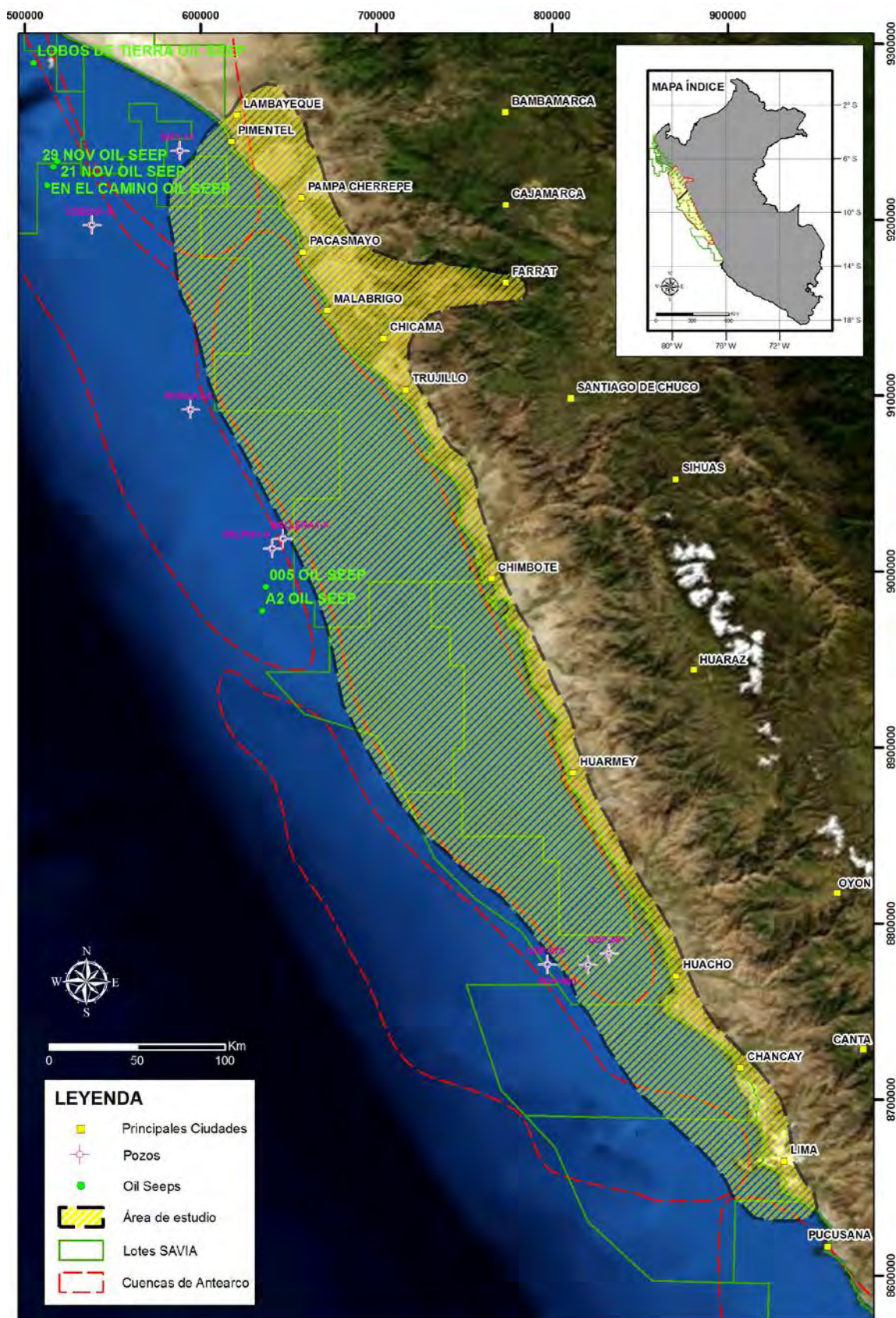


Figura 1.1. Mapa de ubicación.

1.4 METODOLOGÍA

El desarrollo del presente tema de investigación se ha realizado básicamente en tres etapas: trabajo de gabinete previo al reconocimiento de campo, trabajo de campo y trabajo de gabinete posterior al reconocimiento de campo. Dichas etapas fueron dinámicas e incluso algunas actividades se realizaron en simultáneo.

TRABAJO DE GABINETE PREVIO AL RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Corresponde a la etapa previa al reconocimiento de campo, donde se realizaron las siguientes actividades (Figura 1.2):

- Recolección de toda la documentación geológica existente acerca del área de estudio:
 - Reportes internos
 - Informes de salidas de campo
 - Imágenes satelitales
 - Publicaciones científicas y técnicas
 - Información pública de compañías petroleras
 - Otras tesis relacionadas al tema de investigación

La documentación compilada proviene del Archivo Central de SAVIA PERU S.A., INGEMMET, Sociedad Geológica del Perú, publicaciones del AAPG y trabajos técnicos presentados en el CPG, INGEPEP y otros Congresos Internacionales.

- Recopilación de datos GIS:
 - Carta Geológica Nacional a escala 1:100,000 (INGEMMET)
 - DEM de la Costa y Cordillera del Perú (Savia / tomado de la web)
 - Mapa Estructural al Tope del Paleozoico – TWT (Savia)
 - Mapas gravimétricos y magnetométricos (Tomados de Fugro, 1993)
- Recopilación de secciones geológicas y columnas estratigráficas.
- Recopilación de datos de orientación (rumbo y buzamiento) tomados en los diferentes viajes de campo realizados por SAVIA.

- Recopilación de datos geoquímicos (TOC y Pirolisis Rock-Eval) correspondientes a muestras de las diferentes unidades estratigráficas Cretácicas (Perupetro-LCV, 1999).
- Análisis, filtrado, depuración y síntesis de la información proveniente de las referencias bibliográficas. Generando de esta manera datos organizados en los siguientes tópicos: Cretácico, Estratigrafía, Evolución Estructural, Paleogeografía de los Andes, Cuencas de Antearco, Gravimetría-Magnetometría, Geoquímica y Otras Tesis.
- Elaboración de mapas base de la zona de estudio a escala 1: 1'200,000 (regional) y 1:400,000 (mayor detalle); conteniendo: líneas sísmicas regionales offshore y la geología onshore con la ubicación de las secciones geológicas y columnas estratigráficas recopiladas.
- Construcción de secciones geológicas onshore a escala 1:100,000. Dichas secciones fueron *drafts* preliminares, que permitieron develar las relaciones estratigráficas y el dominio geográfico que poseen los Depósitos Cretácicos, que posteriormente fueron validados con el trabajo de campo.
- Análisis de imágenes satelitales de afloramientos Cretácicos no cartografiados o que en su defecto poseen pocos datos bibliográficos. De esta manera se propusieron potenciales *traverses* y puntos de muestreo, teniendo en cuenta los objetivos perseguidos, el presupuesto, la accesibilidad y posibles riesgos durante la salida.

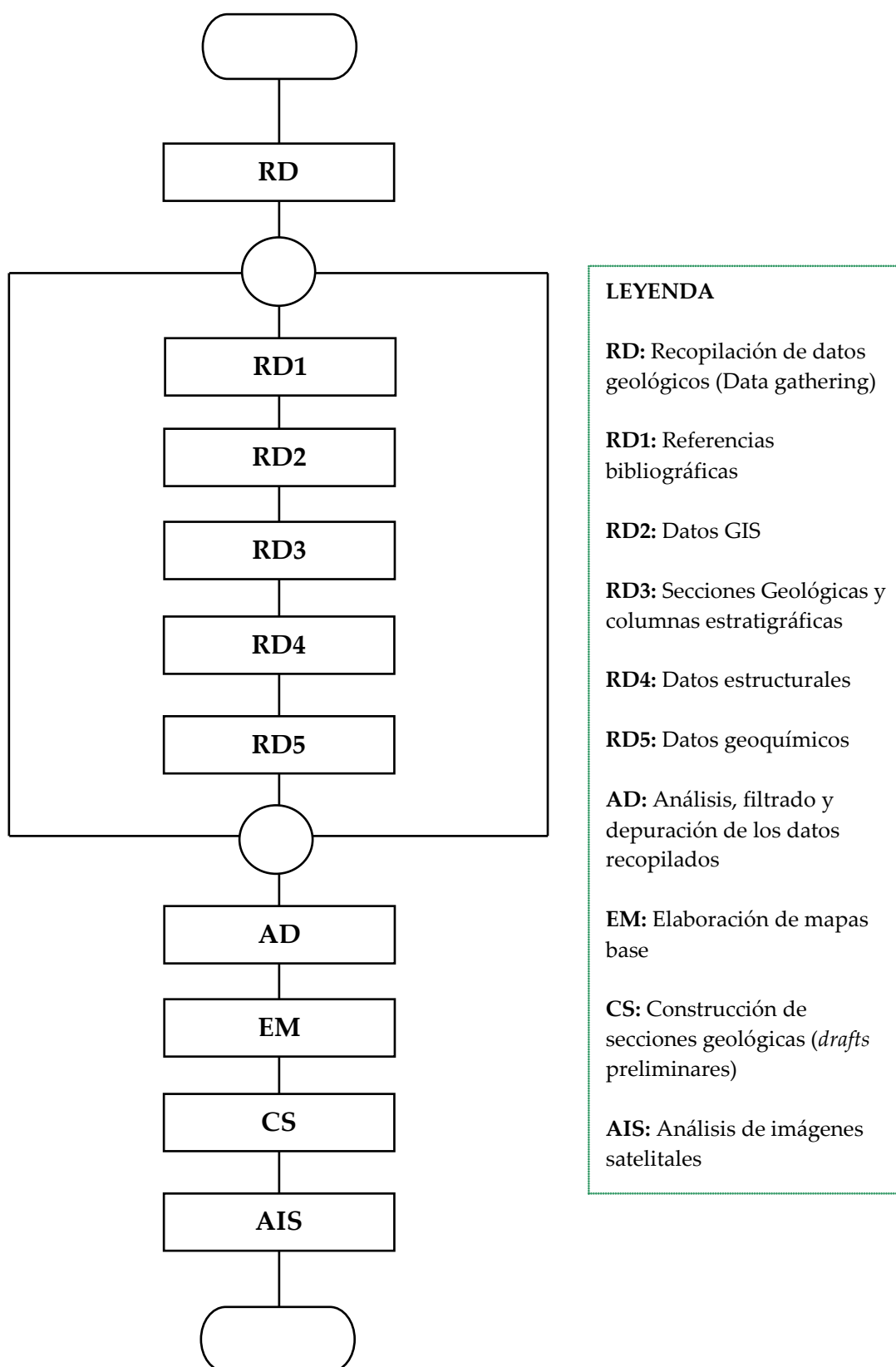


Figura 1.2. Diagrama de Flujo (DF) utilizado en la presente Tesis para la etapa previa al reconocimiento de campo.

TRABAJO DE CAMPO

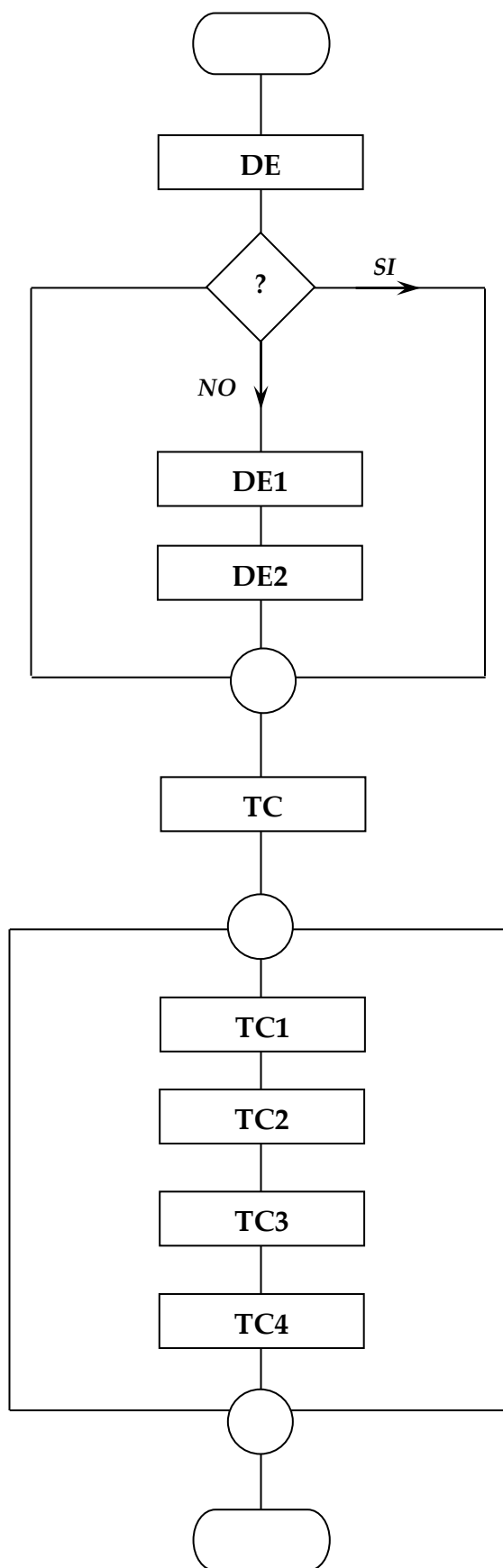
Para el reconocimiento de campo se revisó la bibliografía de las localidades tipo de las diferentes unidades Cretácicas y con el objetivo de aportar con la cartografía geológica nacional se propusieron como estaciones de trabajo, zonas donde la bibliografía posee pocos datos ó en su defecto no menciona nada, para ello se analizaron imágenes satelitales de Google Earth y acorde con la geología regional se propusieron potenciales *traverses* y puntos de muestreo sobre afloramientos Cretácicos, teniendo en cuenta los objetivos perseguidos, el presupuesto, la accesibilidad y posibles riesgos inherentes (Figura 1.3).

El trabajo de campo propiamente dicho se basó principalmente en:

- Reconocimiento y estudio de las relaciones estratigráficas y contexto estructural de las formaciones Mesozoicas, con especial énfasis en las unidades Cretácicas.
- Toma de muestras para reconocimiento petrográfico (determinación litológica)
- Medición de orientación de estructuras geológicas (estratos, fracturas, fallas, pliegues)
- Medición de columnas estratigráficas, de ser posible.

Acorde con los objetivos de la presente investigación, se establecieron las siguientes zonas de trabajo:

- **Lima – Huacho**; para reconocer afloramientos asignados al Gpo. Morro Solar (Pasamayo) y reconocer afloramientos no cartografiados que posiblemente correspondan a facies equivalentes a la Fm. La Zorra (en los alrededores de Huacho).
- **Punta Gramadal – Huarney**; para reconocer afloramientos pertenecientes a la secuencia volcano-sedimentaria del Gpo. Casma y estudiar sus características como potenciales roca generadora y reservorios naturalmente fracturados.
- **Trujillo – Pacasmayo**; para reconocer afloramientos del Gpo. Goyllarisquizga y otros afloramientos Cretácicos poco estudiados (Puemape y Malabrigo).



LEYENDA

DE: Definir las estaciones de trabajo

?: Se definieron las estaciones de trabajo?

DE1: Revisar la bibliografía

DE2: Analizar las imágenes satelitales

TC: Trabajo de campo

TC1: Reconocimiento y estudio de las relaciones estratigráficas y contexto estructural (Fotos + descripción)

TC2: Muestreo (coordenadas + fotos + descripción)

TC3: Medir orientación de estructuras geológicas (coordenadas + fotos + descripción)

TC4: Medir columnas estratigráficas, de ser posible

Figura 1.3. DF utilizado en la presente Tesis para la etapa del trabajo de campo.

- **Pacasmayo – Chiclayo**, para reconocer afloramientos del Gpo. Goyllarisquizga (Cerro Mauro, Mazanca-Chocofan), Fms. Inca-Chulec-Pariatambo (Mocupe y Cerros de Talambo) y Gpos. Pullucana-Quilquiñan (Saltur y San Nicolás); tomar muestras para su descripción petrográfica y estudiar sus características como potencial roca generadora, reservorios naturalmente fracturados, roca sello y roca de soterramiento.

TRABAJO DE GABINETE POSTERIOR AL TRABAJO DE CAMPO

La segunda etapa del trabajo de gabinete se realizó posteriormente al reconocimiento geológico superficial y sirvió para validar y/o desechar los datos y conocimiento adquirido; y principalmente para desarrollar las descripciones e interpretaciones geológicas. Las principales tareas fueron (Figura 1.4):

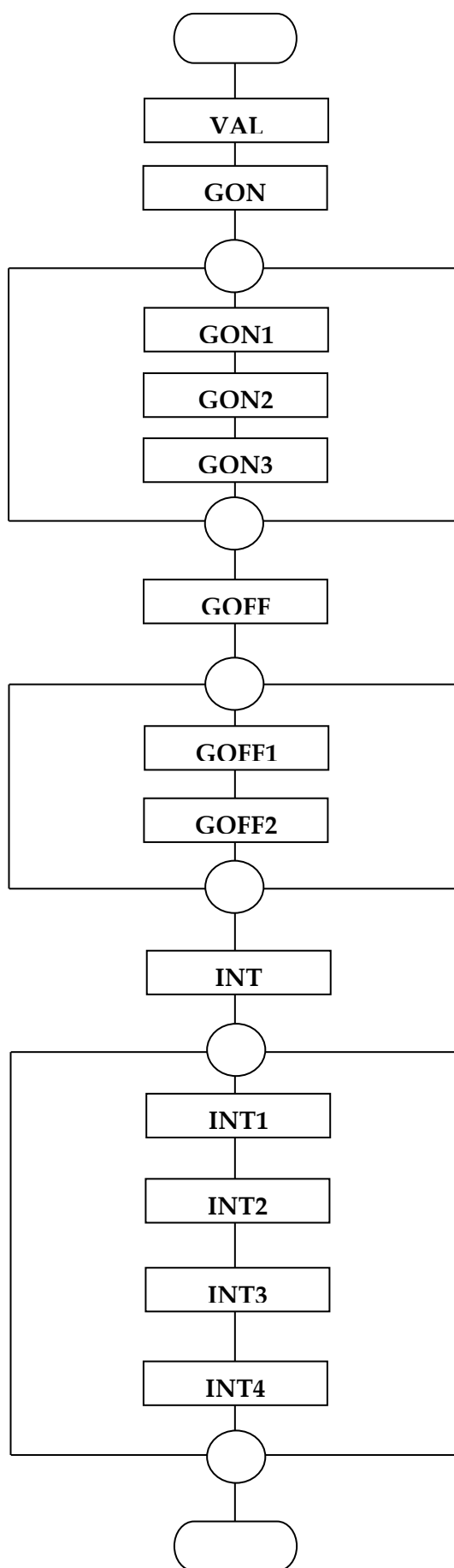
- Validación y/o depuración de los datos recopilados, en contraste con los datos de campo.
- Diferenciación de los Depósitos Cretácicos en secuencias, según estratigrafía secuencial (acorde con Vail et. al., 1991; Einsele, 1992 y Catuneanu, 2006).
- Cartografiado digital de estructuras regionales onshore y offshore.
- Validación y/o corrección de las secciones geológicas onshore (a escala 1:100,000) con los datos de campo; teniendo en cuenta los espesores medidos, la orientación de las estructuras geológicas y la litología.
- Interpretación de 16 líneas sísmicas regionales offshore. Teniendo en consideración 3 horizontes sísmicos:
 - **Tope del Paleozoico** (definido e interpretado por SAVIA)
 - **Base del Cenozoico** (definido e interpretado por SAVIA)
 - **Base del Albiano** (definido e interpretado en la presente investigación)
- Elaboración del mapa estructural onshore-offshore
- Elaboración de mapas isópacos onshore actuales con los datos de espesores recopilados de la bibliografía y los, medidos en campo.

- Generación de mapas isópacos offshore en tiempo:
 - Mapa isópaco en tiempo entre el horizonte “Base del Albiano” y el horizonte infrayacente, denominado “Tope del Paleozoico” (horizonte interpretado por Savia).
 - Mapa isópaco en tiempo entre el horizonte “Base del Albiano” y el horizonte suprayacente, denominado “Base del Cenozoico” (horizonte interpretado por Savia).
- Generación de una función de velocidad en base a los datos de *check-shot* de los pozos Lobos 1-X y Morsa 1-X.
- Conversión de los isópacos offshore de tiempo a profundidad.
- Integración de los isópacos onshore con los isópacos offshore.

- Luego utilizando en conjunto la información sísmica, gravimétrica y magnetométrica se interpretaron **polígonos de distribución**, como las zonas con mayor posibilidad que contengan Depósitos Cretácicos remanentes, y se integraron con los isópacos onshore-offshore para así obtener mapas con la distribución actual de las Secuencias Cretácicas.

- Finalmente se integró toda la información geológica con los datos geoquímicos públicos para interpretar el potencial generador de hidrocarburos que posee cada Secuencia Cretácica diferenciada y brindarle valor económico desde el punto de vista del Sistema de Petróleo.

La integración de todo el conocimiento generado, unido a la interpretación estructural regional nos permite aportar a la geología del Cretácico del Perú Central y caracterizarla bajo el punto de vista de la exploración hidrocarburífera.



LEYENDA

VAL: Validación y/o depuración de datos

GON: Geología Onshore

GON1: Validar y/o corregir secciones geológicas onshore

GON2: Cartografiado digital de estructuras regionales

GON3: Elaborar mapas isópacos Onshore

GOFF: Geología Offshore

GOFF1: Interpretar líneas sísmicas regionales

GOFF2: Generar mapas isópacos (tiempo y profundidad)

INT: Integración Onshore - Offshore

INT1: Construir mapa estructural Onshore - Offshore

INT2: Interpretar los polígonos de distribución

INT3: Elaborar mapas de distribución e isópacos de cada Secuencia Cretácica

INT4: Interpretar el potencial generador de hidrocarburos de cada Secuencia Cretácica

Figura 1.4. DF utilizado en la presente Tesis para la etapa posterior al trabajo de campo.

1.5 ESTADO DEL ARTE

A continuación se describirán los trabajos realizados en el área de estudio, los cuales han sido tomados como base para el desarrollo del presente tema de investigación. Seguidamente se brindan referencias sobre los datos geoquímicos utilizados en la interpretación del potencial generador de las Secuencias Cretácicas.

1.5.1 Antecedentes

La Plataforma Continental del Perú Central ha sido objeto de numerosos esfuerzos de exploración e investigación por parte de Compañías petroleras, Instituciones nacionales, Universidades extranjeras y Legiones de investigación.

En primer lugar podemos mencionar a la Cia. Occidental Petroleum, la cual en 1970 realizó una adquisición e interpretación de líneas sísmicas que concluyó con la perforación de los pozos exploratorios Delfín 1-X y Ballena 1-X.

Posteriormente la zona de estudio ha sido cubierta con sísmica 2D de las campañas de C.G.G., Ribiana y Seiscom Delta en los años 1973, 1988 y 1993 respectivamente, en tanto que en 1999 Repsol YPF perforó los pozos exploratorios Morsa 1-X y Lobos 1-X, los cuales aún encontrándose en la Cuenca Trujillo proveen información valiosa para la interpretación sísmica del área de estudio. En el 2007 Petro-tech adquirió 4477 Km. de líneas 2D adicionales.

Es necesario mencionar que diferentes instituciones científicas han estudiado intensamente el área desde 1971, entre ellas tenemos a Oregon State University (OSU), Hawaii Institute of Geophysicis (HIG), Pacific Oceanographic Laboratories (NOAA) y el Ocean Drilling Program (ODP). La mayor parte de éstas centraron su atención en el marco tectónico del margen continental y en menor proporción realizaron estudios estratigráficos.

Thornburg & Kulm (1981) estudian y proponen en base a datos sísmicos, gravimétricos y magnetométricos la estructura del margen continental y tectónica del Perú Central.

Así mismo Azalgara (1993) analiza la evolución estructural de las Cuencas de Antearco Peruanas y diferencia los Depósitos Cenozoicos en diferentes secuencias. Aún

cuando su estudio se basó en el Cenozoico, es uno de los primeros en interpretar un horizonte Cretácico en las líneas sísmicas.

Finalmente como el máximo de conocimiento respecto de las rocas Cretácicas en el offshore del área de estudio tenemos el mapa al tope del Basamento Pre-Cenozoico interpretado por PARSEP (2001), donde dicho horizonte no diferencia entre unidades Mesozoicas y Paleozoicas.

De la misma forma **la Franja Costera y la Cordillera Occidental**, principal fuente de datos para la interpretación del offshore, ha sido estudiada por diferentes autores e instituciones, entre los cuales podemos mencionar:

El análisis paleontológico y cronoestratigráfico del Sistema Cretácico en el Norte y Centro del Perú de Benavides (1956), el cual es la piedra angular en el desarrollo de la estratigrafía y cartografiado de las unidades Cretácicas. Acorde con Benavides se realizaron los estudios de la Carta Geológica Nacional a cargo del INGEMMET.

Casi en paralelo Fischer (1956) analiza el Sistema Cretácico en el Noroeste del Perú, como parte del esfuerzo exploratorio de la I.P.Co.; definiendo por primera vez el término “Western Massifs”, que correspondería a lo que hoy conocemos como “Outer Shelf High”, e integrando los amonites y foraminíferos en zonas faunísticas.

Fernández (1958) a través del estudio paleontológico, y estratigráfico de las rocas sedimentarias que afloran en Chorrillos (Lima) define las formaciones que componen el Gpo. Morro Solar, y acorde con éste Rivera, R. (1975) trata de dar una visión regional de la estratigrafía de la costa de Lima. Así mismo Pardo (1961) y Bosc (1963) estudian las rocas Cretácicas en Lurín y Chilca respectivamente.

Morris y Aleman (1975) se encargan de estudiar la sedimentación y tectónica del Grupo Copa Sombrero de edad Albiano Terminal–Turoniano?, definiendo paleocorrientes, elaborando isópacos y mapas de facies.

Cobbing et al. (1981) plasma el estudio de la Cordillera Occidental del Norte del Perú, resumiendo la estratigrafía descrita por diferentes autores y mostrando mapas isópacos de las formaciones Cretácicas, que sirven de manera esquemática mas no de forma real.

Myers (1980), Guevara (1980) y Soler (1991) han estudiado el Gpo. Casma, sus características litológicas, estratigráficas y tectónicas; proponiendo diferentes hipótesis sobre su ambiente de formación (arco volcánico ó cuenca marginal abortada?). Venturo (2008) brinda evidencias sismogeológicas de la influencia del arco volcánico Jurásico y Cretácico en la Cuenca Salaverry. De la misma manera Valencia & Uyen (2002) estudian la secuencia volcano-sedimentaria del Gpo. Copa Sombrero (de edad Albiano-Turoniano?), caracterizando sus facies de arenisca como potencial reservorio naturalmente fracturado; y por otro lado Reyes (1988), Palacios (1994), Tegart (2000) y Ríos (2004) han estudiado la secuencia mayormente volcánica de la Fm. Lancones de edad Albiano. Ambas unidades podrían correlacionarse con las facies volcano-sedimentarias del Gpo. Casma.

Por otro lado no se puede dejar de mencionar la intensa actividad exploratoria de SAVIA PERU S.A., el esfuerzo e inversión que en su momento realizó Petróleos del Perú y también el cartografiado a escala 1:100,000 y 1:50,000 realizado por los geólogos del INGEMMET.

1.5.2 Data Geoquímica de afloramientos

Los datos geoquímicos utilizados en la interpretación del potencial generador de hidrocarburos de las Secuencias Cretácicas fue tomado del trabajo: "Estudios de investigación geoquímica del potencial de hidrocarburos – Lotes del Zocalo Continental y de Tierra", realizado por Perupetro–LCV (1999), el cual contribuye desde el campo de la geoquímica a revelar las condiciones del contenido y calidad de la materia orgánica, así como el potencial para generar hidrocarburos que poseen las diferentes unidades estratigráficas expuestas a los largo de la franja costera peruana.

Dicho estudio analizó 866 muestras de roca de un total recolectado de 877 y 8 muestras de petróleo, las muestras de roca corresponden mayormente a afloramientos y en menor proporción a cuttings y cores. Así mismo dicho estudio compiló toda la información geoquímica de la costa correspondiente a trabajos precedentes.

Como resultado se obtuvo una robusta base de datos geoquímica que puede sintetizarse agrupando los datos por Cuencas, y de la cual para la presente investigación se

tomaron todos los datos concernientes a las rocas Cretácicas expuestas en el área de estudio, obteniendo así 248 muestras que nos permitirán integrar los datos geoquímicos con la interpretación geológica.

1.6 BASE TEÓRICA

En la presente investigación se han diferenciado las unidades Cretácicas en secuencias de segundo orden (acorde con Vail et. al., 1991; Einsele, 1992 y Catuneanu, 2006); y de la misma manera se ha estudiado su aplicación como potenciales elementos de un Sistema de Petróleo, enfocándonos principalmente en el potencial como **Roca Generadora** que posee cada una de las secuencias Cretácicas diferenciadas. Por otro lado el reconocimiento geológico de campo también ha permitido reconocer potenciales Rocas Reservorio y Rocas Sello.

Por lo cual durante el desarrollo de la Tesis se hace referencia a determinadas características geológicas – geoquímicas en más de una oportunidad. Razón por la cual, se plantea un marco teórico referencial sobre: las Secuencias Sedimentarias, la Jerarquía de Secuencia, el Sistema de Petróleo y el análisis geoquímico para la caracterización de Roca Generadora.

A) SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA

El término “secuencia” fue introducido por Sloss et al. (1949) para designar una unidad estratigráfica limitada por discordancias subaéreas (***que pueden corresponder a superficies de erosión – discordancias – ó superficies de no deposición - paraconformidades***). Sloss también enfatizó la importancia del tectonismo en la generación de límites de secuencias y discordancias (esta idea es ampliamente aceptada en nuestros días pero fue muy cuestionada en los primeros años de la estratigrafía sísmica). El termino original “secuencia” definido por Sloss se refirió a conjuntos de estratos, limitados hacia la base y hacia el tope por “discordancias”, con rango estratigráfico de grupo ó más grande, por lo cual la aplicabilidad del concepto “secuencia” se restringió a estudios de escala regional.

En paralelo con el desarrollo del concepto “secuencia” en un contexto estratigráfico, algunos sedimentólogos en los años 60's y 70's redefinieron el termino “secuencia” para incluir una sucesión vertical de facies que están organizadas de una forma coherente y predecible (Pettijhon, 1975; en Catuneanu, 2006), reflejando la evolución natural de un ambiente deposicional.

Ejemplos de secuencia de facies, en un sentido sedimentológico, podrían incluir sucesiones granocrecientes de facies deltaicas, ó la repetición de rellenos de canal, acreción lateral y elementos de desbordamiento que son típicos de sistemas de ríos meándricos.

El desarrollo de la sísmica y la estratigrafía secuencial durante los años 70's y 80's revitalizó el uso del termino “secuencia” en un contexto estratigráfico, lo cual se mantuvo como enfoque dominante hasta la fecha.

Por lo tanto es importante distinguir entre la “secuencia” de la estratigrafía secuencial y la “secuencia de facies” de la sedimentología.

La “secuencia” limitada por discontinuidades promovida por Sloss (1963) y Wheller (1964) en la era pre-estratigrafía secuencial proveyó a la comunidad geológica con unidades mapeables que pueden ser usadas para correlación estratigráfica y en la subdivisión del registro litológico dentro de paquetes de estratos genéticamente relacionados.

Así mismo Mitchum (1977) define como “secuencia” a una sucesión conformable de estratos genéticamente relacionados y limitados hacia el tope y la base por discontinuidades ó sus conformidades correlativas.

El concepto “*unconformity-bounded unit*”, que en español correspondería a *unidades limitadas por discordancias*, fue formalizado por European International Stratigraphic Guide en 1994. La limitación de este método de análisis estratigráfico se dio por la extensión lateral de las discordancias que limitan las secuencias, las cuales son potencialmente restringidas hacia los márgenes de la cuenca.

Por lo tanto el número de secuencias mapeadas dentro de una cuenca sedimentaria puede decrecer significativamente a lo largo de la pendiente, desde el margen de la cuenca hacia el centro de la misma (Figura 1.5.).

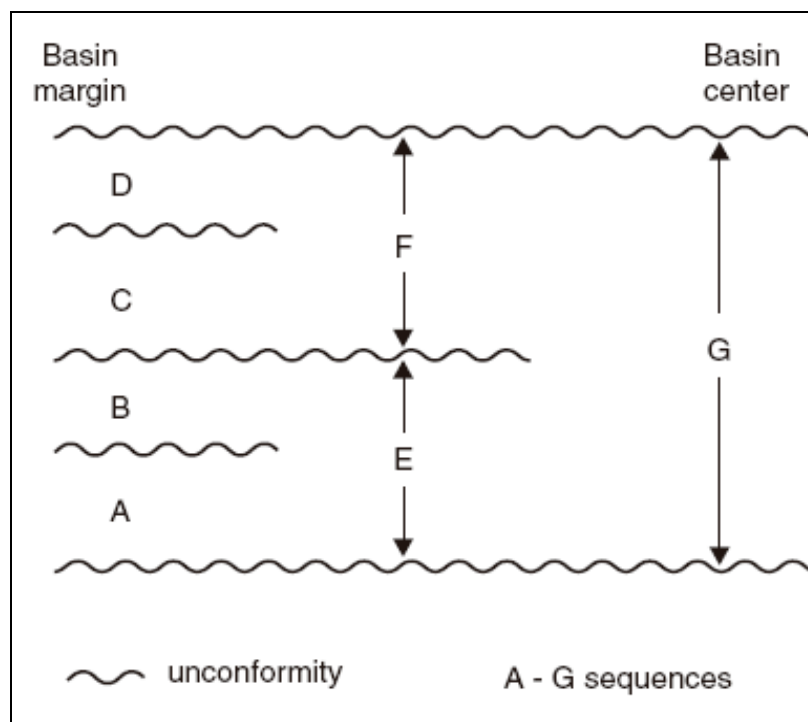


Figura 1.5. Concepto de secuencia limitada por discordancias. Potencialmente las discordancias se restringen a los márgenes de la cuenca (tomado de Catuneau, 2006).

Esta limitación requiere de un refinamiento de las primeras ideas con el objetivo de encontrar la manera de extender los límites de secuencia a través de toda la cuenca.

La introducción de “conformidades correlativas” (*correlative conformities*), las cuales se extienden hacia el centro de la cuenca desde las discordancias del margen de la cuenca, marcan el nacimiento de la estratigrafía sísmica y la estratigrafía secuencial.

La ventaja del concepto moderno de “secuencia” es que está limitada por una superficie compuesta, que puede incluir una porción conformable (en concordancia) que se encuentra en la extensión principal de la cuenca, y con lo cual el número de secuencias mapeadas en el margen de la cuenca iguala al número de secuencias que son encontradas en el centro de la cuenca (Figura 1.6.).

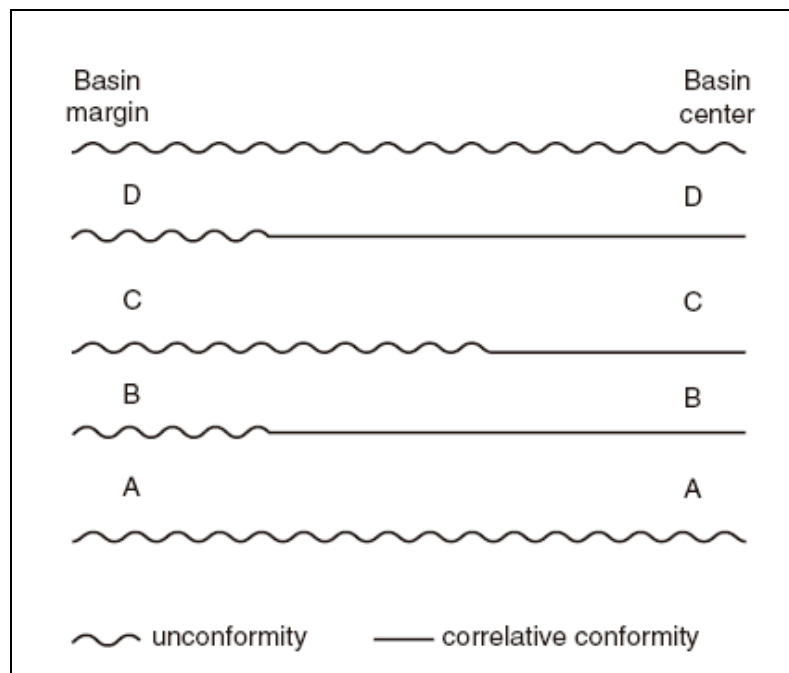


Figura 1.6. Concepto de secuencia definido en Sísmica y Estratigrafía Secuencial. Las conformidades correlativas permiten trazar secuencias a través de toda la cuenca (Tomado de Catuneanu, 2006).

Debido a los grandes desacuerdos con respecto al timing de la conformidad correlativa relacionado a las curvas referenciales del cambio de nivel de base, esta nueva secuencia limitada por discordancias ó sus conformidades correlativas sigue poseyendo una designación informal que aún no ha sido ratificada por las comisiones Europeas y Norteamericanas de nomenclatura estratigráfica. Sin embargo este uso ha sido ampliamente adoptado en la literatura científica en las pasadas dos décadas, no siendo el carácter conformable ó discontinuo de las superficies de limitación un problema en el proceso de delimitación de la secuencia (Catuneanu, 2006).

B) JERARQUIA DE SECUENCIA

Una vez entendido el significado de secuencia estratigráfica, es necesario reconocer la jerarquía que posee(n) la(s) secuencia(s) en estudio.

La **jerarquía de secuencia** asigna diferentes órdenes a las secuencias estratigráficas y a los límites de secuencia, basados en su importancia relativa. La necesidad por una jerarquía se dio aparentemente cuando alguien consideró que había numerosos límites de

secuencias en el registro de una roca; frecuentemente de diferente origen, relevancia y escala espacial.

Dentro del sistema jerárquico la secuencia más importante es reconocida como la, “*de más alto orden*” y generalmente posee una menor frecuencia en el registro estratigráfico; y viceversa.

Acorde con esto las secuencias de “*de más alto orden*” comúnmente consisten de muchas secuencias de menor orden, por lo que la arquitectura estratigráfica regional que describe los trends deposicionales, en conjunto es generalmente más compleja a una escala de observación más detallada.

Las secuencias más importantes son designadas como de *primer orden* y pueden estar subdivididas en 2 ó más secuencias de *segundo orden*, así mismo la secuencia de *segundo orden* puede ser subdividida en secuencias de *tercer orden* y así sucesivamente.

Los órdenes superiores reflejan en conjunto los trends deposicionales a escalas de observación cada vez mayores.

El elemento crítico en desarrollar un sistema jerárquico de secuencias es “**seleccionar el criterio**” que debe ser usado para diferenciar la importancia relativa de las secuencias en estudio.

Dos diferentes criterios se encuentran actualmente en uso (ambos basados en el estudio del registro Fanerozoico):

1. Sistema basado en la duración del ciclo estratigráfico (Vail et al., 1977 & Vail et al., 1991; Einsele, 1992)
2. Sistema basado en la magnitud del cambio del nivel de base (independiente de la duración del ciclo estratigráfico)

Es digno de resaltar que los 2 sistemas jerárquicos mencionados líneas arriba no son mutuamente exclusivos.

SISTEMA JERÁRQUICO BASADO EN LA DURACIÓN DEL CICLO

Dicho sistema (Vail et al., 1977; Mitchum, 1977; Vail et al., 1991; Einsele, 1992) considera al eustatismo como el principal agente en la generación de secuencias de cualquier orden. Cada orden de ciclicidad es asignado a un mecanismo dominante que controla cambios eustáticos sobre escalas de tiempo bien definidas (Figura 1.7).

En otras palabras un solo “*global-cycle chart*” (Haq, 1987) sería representativo para describir la ciclicidad estratigráfica observada en el registro litológico de cualquier cuenca alrededor del mundo (Figura 1.8 y Figura 1.9).

Hierarchical order	Duration (My)	Cause
First order	200-400	Formation and breakup of supercontinents
Second order	10-100	Volume changes in mid-oceanic spreading centers
Third order	1-10	Regional plate kinematics
Fourth and fifth order	0.01-1	Orbital forcing

Figura 1.7. Controles tectónicos y orbitales sobre fluctuaciones eustáticas (Tomado de Vail et. al., 1977, y Miall, 2000; en Catuneanu, 2006).

Hierarchical order	Duration (My)
First order	50 +
Second order	3–50
Third order	0.5–3
Fourth order	0.08–0.5
Fifth order	0.03–0.08
Sixth order	0.01–0.03

Figura 1.8. Sistema jerárquico basado en la duración de los ciclos estratigráficos (Tomado de Vail et. al., 1991; en Catuneanu, 2006).

RANGOS DE LA CICLICIDAD

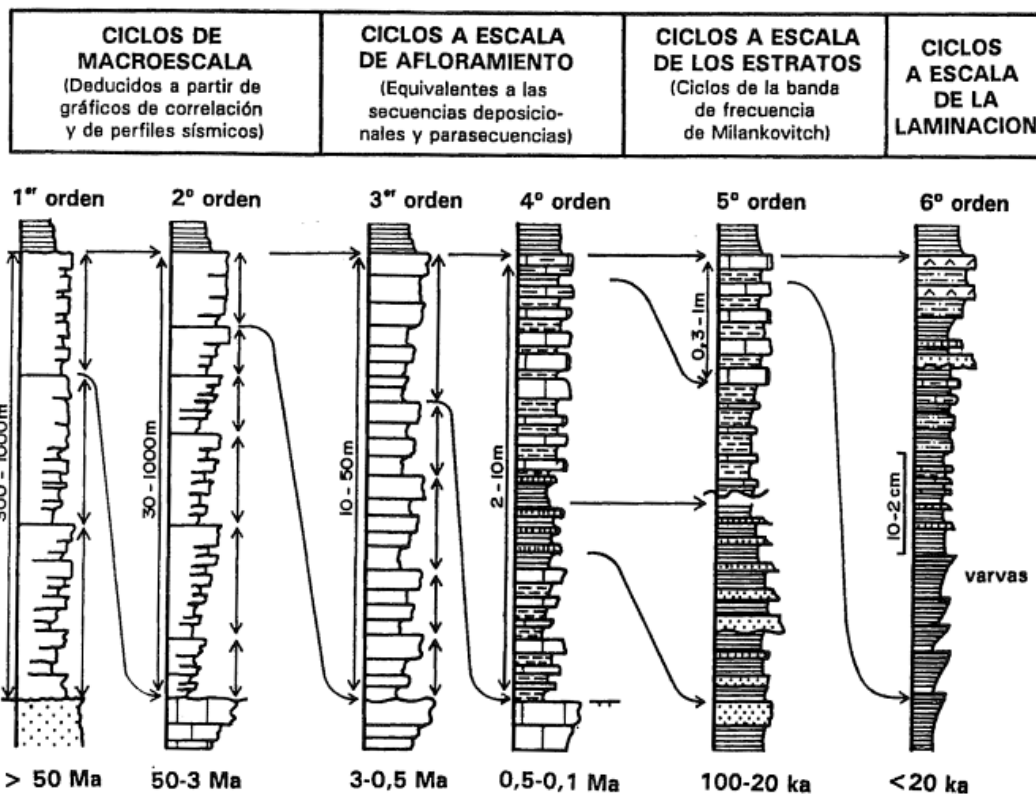


Figura 1.9. Clasificación de la ciclicidad según los rangos y escalas, con indicación del intervalo de tiempo de recurrencia (Tomado de Einsele, 1992).

Estos ciclos globales son considerados como unidades geocronológicas definidas por un simple criterio, el cambio global en la posición relativa del nivel del mar a través del tiempo (Vail et al., 1977; en Catuneanu, 2006). Sin embargo las cuencas sedimentarias son dominadas por, y formadas como resultado de, procesos tectónicos que generalmente operan a escala regional ó continental, por lo que es improbable que los ciclos estratigráficos alrededor del mundo sean sincrónicos (Miall, 2000; en Catuneanu, 2006).

Además de la controversia provocada por el **“global-cycle chart”**, la aplicación del sistema jerárquico basado en la duración del ciclo posee 2 retos para la práctica de los geólogos:

- Desde una perspectiva práctica; el control del tiempo siempre es requerido para designar y justificar órdenes de secuencias.

- Desde una perspectiva teórica; el geólogo debe aceptar que la ley del uniformitarismo aplica indiscutiblemente para el control de la ciclicidad estratigráfica a través de la historia de la tierra.

OBSERVACIONES

El **sistema jerárquico basado en la duración del ciclo** se construye fundamentalmente sobre la asunción que los controles sobre la ciclicidad de un orden jerárquico específico es predecible, repetitivo e incambiable durante la evolución de la Tierra. Esto implica que los controles sobre la ciclicidad estratigráfica son gobernados por la ley del uniformitarismo a través de la historia geológica de la Tierra.

Esto significa que el tiempo es largamente irrelevante para designar un sistema jerárquico aplicable universalmente.

El sistema jerárquico basado en la duración del ciclo es también problemático en el sentido que la periodicidad propuesta por ciclos encima de la banda de Milankovitch es altamente especulativa, y generalmente no es soportada por datos empíricos.

Estudios estadísticos sugieren que no hay evidencia para una jerarquía universal basada en tiempo en el registro litológico (Algeo and Wilkinson, 1988; Carter et al., 1991; Drummond and Wilkinson, 1996; en Catuneanu, 2006), lo cual es un hecho aparente para las contradicciones que existen entre los partidarios de este criterio.

Por lo tanto las periodicidades que puede describir la ciclicidad estratigráfica del relleno sedimentario de una cuenca en particular puede ser única para dicha cuenca, antes que ser consistente con un *template* universal del sistema jerárquico basado en tiempo.

SISTEMA JERÁRQUICO BASADO EN LA MAGNITUD DEL CAMBIO DEL NIVEL DE BASE

Dicho sistema considera que el orden de una secuencia depende de los atributos físicos de sus "**superficies límite**" y es independiente de la duración del ciclo (Figura 1.10).

Seis atributos han sido escogidos para establecer la clasificación de límites de secuencia:

- La extensión areal sobre la cual el límite de secuencia puede ser reconocido.
- La extensión areal de la porción discordante del límite de secuencia.
- El grado de deformación de los estratos infrayacentes a la porción discordante del límite de secuencia.
- La magnitud de la profundización del mar y la inundación del margen de la cuenca, representados por los estratos transgresivos que sobreyacen el límite de secuencia.
- El grado de cambio del régimen sedimentario a lo largo del límite de secuencia.
- El grado de cambio de la configuración tectónica de la cuenca y áreas circundantes a lo largo del límite de secuencia.

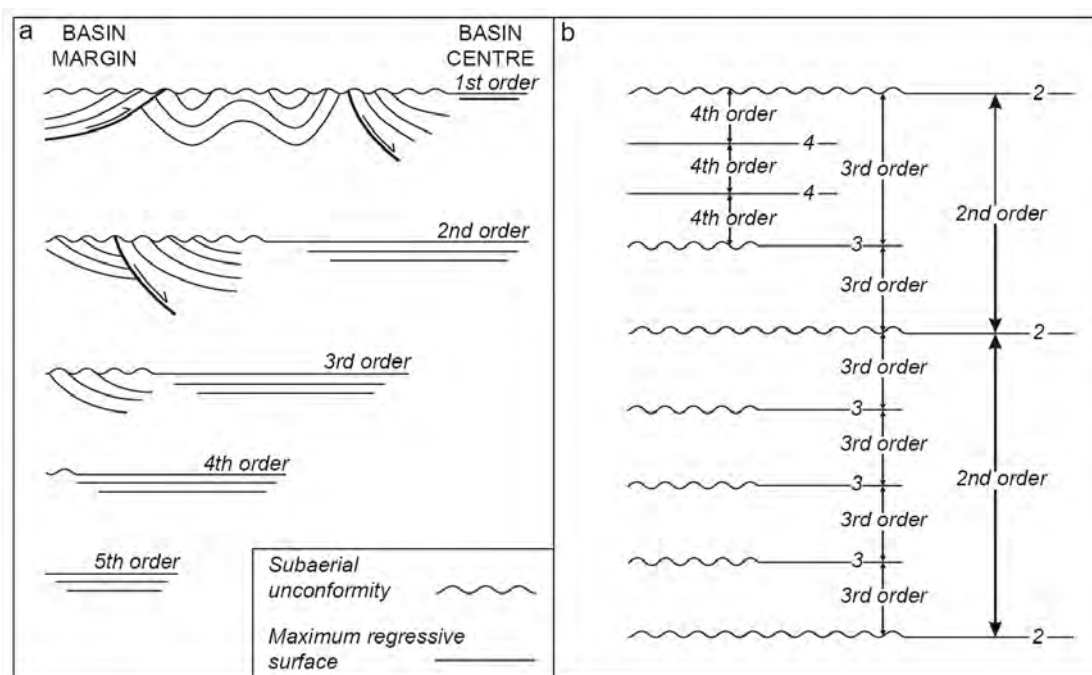


FIGURE 8.5 Hierarchy system based on the magnitude of base-level changes that resulted in the formation of bounding surfaces (modified from Embry, 1993, 1995). (a) Schematic depiction of the five orders of sequence boundaries determined from boundary characteristics which reflect base-level changes. (b) Principles of determining the order of a sequence: a sequence cannot contain within it a sequence boundary of equal or greater magnitude than its lowest magnitude boundary; the order of a sequence is equal to the order of its lowest magnitude boundary.

ordenada de secuencias es basada en el principio que una secuencia no puede contener dentro de si un límite de secuencia de igual o mayor magnitud que la suya.

OBSERVACIONES

Dos potenciales retos para este esquema de clasificación han sido discutidos por Miall (1997, pp 330-331). El primer reto implica el control tectónico en la generación de secuencias.

El segundo problema es que dicha clasificación requiere buena preservación del margen de la cuenca para propiamente evaluar la extensión areal de la porción discordante del límite de secuencia ó el grado de deformación a lo largo del mismo.

Por estas razones este sistema jerárquico es visto como impracticable, o difícil de aplicar, debido a que la mayoría de márgenes de cuenca tienden a no estar preservados en el registro litológico, una tendencia que es particularmente evidente con el incremento de la edad estratigráfica (Miall, 1997).

Más allá de las limitaciones prácticas, el sistema jerárquico basado en la magnitud del cambio del nivel de base tiene la ventaja de emplear criterios físicos para la delineación del límite de secuencia, sin considerar el intervalo de tiempo entre los límites de secuencia; pero también requiere de control regional sobre la naturaleza de facies que están en contacto a lo largo del límite de secuencia y sobre la extensión concordante y discordante del límite de secuencia. Este tipo de datos comúnmente no están disponibles en las primeras etapas de exploración de una cuenca sedimentaria, y aún cuando estén disponibles pueden no proveer soluciones inequívocas en el caso de cuencas tectónicamente pasivas, donde la ciclicidad estratigráfica está primordialmente controlada por los cambios del nivel del mar.

DISCUSIÓN ACERCA DEL SISTEMA JERÁRQUICO

Debido a que los sistemas de jerarquía de secuencias que están actualmente en uso presentan limitaciones conceptuales y prácticas, el practicante de estratigrafía secuencial aún enfrenta el dilema de cómo tratar con la variedad de secuencias que son más o menos importantes en relación con las demás.

Un sistema jerárquico universalmente aplicable para todos los casos de estudio, tipo de cuencas, edades estratigráficas, aún no ha sido inventado.

Como argumenta Catuneanu (2003) la solución más sencilla al problema es enfrentar el problema de la jerarquía de secuencias según cada caso en estudio, asignando orden jerárquico a las secuencias y límites de secuencia en base a su importancia relativa dentro de cada cuenca en estudio.

Dicha propuesta requiere de una división de primer orden del registro estratigráfico en secuencias que son producto de la sedimentación en una cuenca sedimentaria discreta. En este contexto el más importante límite de secuencia en el registro estratigráfico, designado como "*primer orden*", está genéticamente relacionado con los cambios en la configuración tectónica que generan los cambios en el tipo de cuenca sedimentaria.

Secuencias de primer orden corresponden a todo el relleno sedimentario de una cuenca sedimentaria, independiente del origen y evolución de cada cuenca en particular. Dentro de este contexto los ciclos de *segundo orden* proveen una subdivisión básica de una secuencia de *primer orden* en paquetes que reflejan cambios significativos en el balance entre la acomodación y sedimentación, y así sucesivamente, según decrece la escala de observación.

Puede notarse que la metodología propuesta (Catuneanu, 2006) diverge de ambos sistemas jerárquicos propuestos líneas arriba. En contraste con el sistema jerárquico basado en la duración del ciclo, esta metodología es independiente de la duración del ciclo estratigráfico e implícitamente del intervalo repetido del límite de secuencia.

C) SISTEMA DE PETRÓLEO

Es un concepto unificador que relaciona todos los elementos y procesos geológicos que son esenciales para la acumulación de petróleo y/o gas. Su aplicación práctica puede ser usada en exploración, evaluación de recursos y en investigación.

El término **petróleo** describe un compuesto que incluye altas concentraciones de cualquiera de las siguientes sustancias:

- Gas biológico y termal encontrado en reservorios convencionales así como en hidratos de gas, reservorios apretados, lutitas fracturadas y carbón.

- Condensados.
- Petróleo crudo.
- Bitumen natural en reservorios, generalmente en rocas siliciclásticas y carbonatadas.

El término **sistema** describe la interdependencia de los elementos y procesos geológicos que forman una unidad funcional que crea acumulación de hidrocarburos.

ELEMENTOS Y PROCESOS

Los elementos esenciales de un Sistema de Petróleo incluyen:

- Roca generadora
- Roca reservorio
- Roca sello
- Roca de soterramiento

Del mismo modo el Sistema de Petróleo posee 2 procesos:

- Formación de la Trampa
- Generación – migración – acumulación de hidrocarburos

Estos elementos y procesos geológicos esenciales deben tomar lugar correctamente en tiempo y espacio para que la materia orgánica presente en la roca generadora pueda ser convertida en acumulaciones de petróleo. Un Sistema de Petróleo existe donde los elementos y procesos geológicos esenciales ocurren ó se cree tener una probabilidad razonable de que ocurran.

El Sistema de Petróleo está limitado por el tiempo y el espacio. Cada Sistema puede ser descrito en términos de sus propios elementos y procesos temporales y espaciales (Figura 1.11). Un Sistema de Petróleo tiene 3 importantes aspectos temporales: edad, momento crítico, y el tiempo de preservación. Además cada Sistema puede ser definido espacialmente por su extensión geográfica y estratigráfica (Figura 1.11).

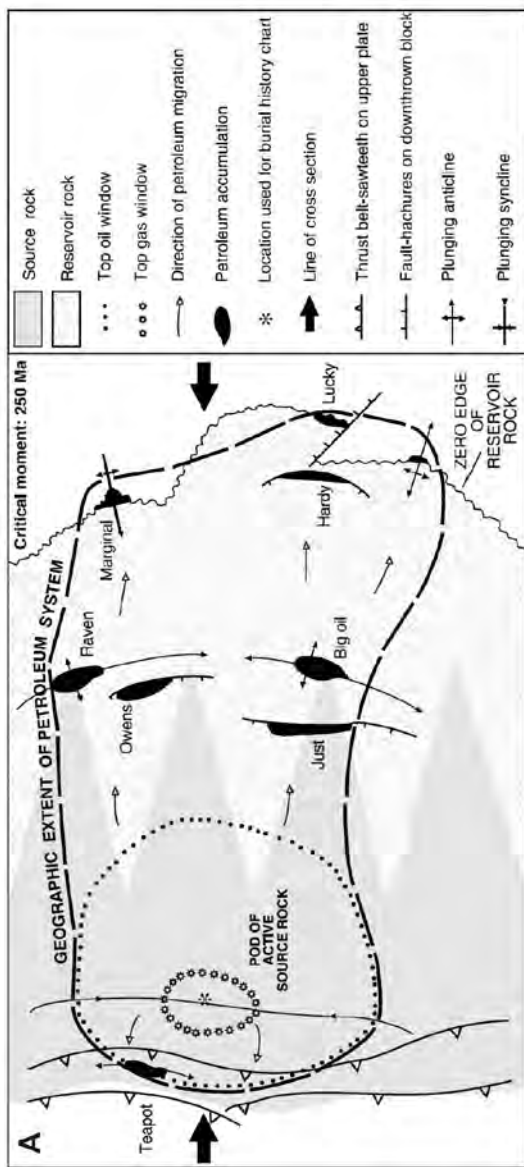
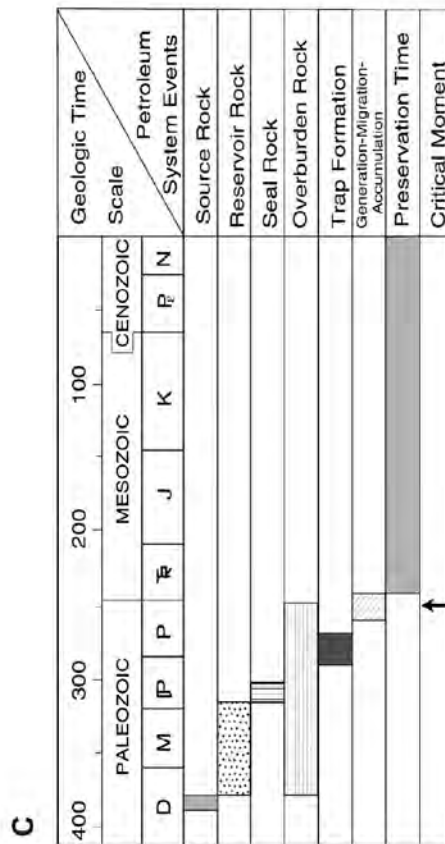
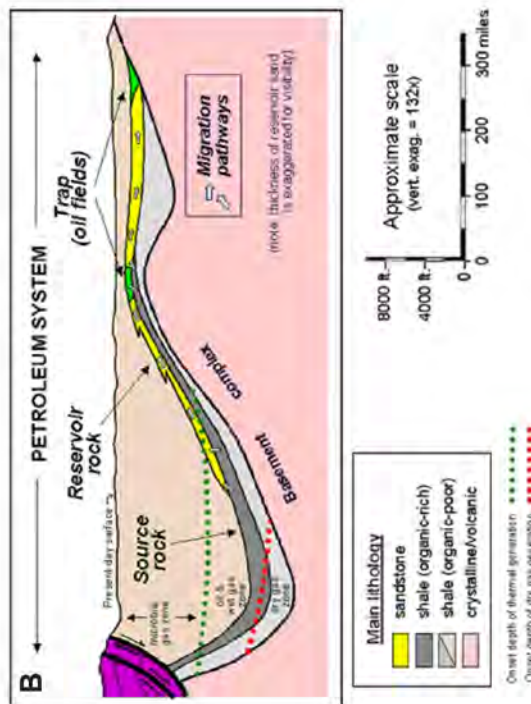


Figura 1.11. El Sistema de Petróleo y su extensión temporal y espacial:

- A. Modelo de extensión geográfica
 - B. Modelo de extensión estratigráfica
 - C. Modelo de extensión temporal
- Tomado de Magoon y Dow (1994)



C

Para identificar un Sistema de Petróleo, los exploradores deben encontrar alguna evidencia de petróleo, no interesando cuan pequeña sea, cualquier cantidad es prueba de un Sistema de Petróleo. De esta manera un *oil seep*, un *gas seep*, un *show* de petróleo ó gas en un pozo, o cualquier acumulación de petróleo ó gas demostrará la presencia de un Sistema de Petróleo activo.

D) CARACTERIZACIÓN DE ROCAS GENERADORAS

Dicha caracterización consiste en determinar el potencial generador que posee una unidad estratigráfica, a través del estudio de muestras de rocas. Para considerar una roca como potencial roca generadora debemos analizar las siguientes características:

- Cantidad de materia orgánica (MO)
- Calidad de MO
- Madurez termal
- Distribución areal y espesor

De las cuales la cantidad y la calidad de MO están relacionadas con el ambiente deposicional; mientras que la madurez termal, la distribución y el espesor están relacionadas a la evolución tectono-sedimentaria de la provincia geológica en estudio.

Para estudiar dichas características es necesario someter las muestras de rocas a determinados análisis geoquímicos, de los cuales podemos mencionar las siguientes relaciones:

- **Cantidad de MO:** medida por el *TOC*
- **Calidad de MO:** determinada a través de los tipos de kerógeno presentes en la MO
- **Madurez termal:** estimada a través de los datos de Pirolisis Rock-Eval y reflectancia de vitrinita.

Por lo cual es de gran importancia conocer las definiciones, los tipos de análisis y los parámetros utilizados en la interpretación del potencial generador.

ROCA GENERADORA

Roca capaz de generar o expulsar petróleo en cantidades suficientes para la formación de acumulaciones comerciales de petróleo ó gas (Hunt, 1996; en Law, 1999). Corresponde a una roca sedimentaria rica en MO, la cual puede haber sido depositada en una variedad de ambientes deposicionales; incluyendo marino de aguas profundas, lacustrino y deltaico

TOC ANALISIS (wt%)

Es un análisis de detección usado para evaluar la riqueza de MO presente en una muestra de roca. Sirve como línea guía en la evaluación de potencial generador de hidrocarburos; sin embargo por si solo no es un indicador claro; por ejemplo el grafito es 100% carbón, pero este no generará petróleo.

Dicho carbón orgánico total (TOC) incluye tanto el kerógeno como el bitumen (Figura 1.12 A).

Kerógeno: Es la fracción remanente (insoluble) de la materia orgánica, después que una muestra de roca pulverizada ha sido atacada con solventes orgánicos (Peters y Cassa, 1994; en Law, 1999).

Bitumen: Es la fracción orgánica de un sedimento que es extraíble (soluble) con solventes orgánicos (Tissot y Welte, 1984; en Law, 1999).

Efectos del ambiente deposicional

Dentro de los procesos que permiten preservar la MO tenemos:

- Deposición en ambientes pobremente oxigenados (anóxicos a disaeróbicos)
- Upwelling
- Sedimentación rápida (Chinn, 1991; en Law, 1999)

PIRÓLISIS

Proceso por el cual la MO se descompone por calentamiento en ausencia de oxígeno, la cantidad de hidrocarburos y CO₂ liberados son medidos. La técnica de pirolisis más usada es Rock-Eval.

PIRÓLISIS ROCK-EVAL

Procedimiento analítico que permite, rápidamente y a partir de una pequeña cantidad de muestra de roca, evaluar diferentes tipos de MO, su grado de evolución térmica y su potencial en la generación de hidrocarburos. Los parámetros obtenidos a través de este procedimiento son (Figura 1.12 B):

S1 (mg HC/g roca): Corresponde a la medida de los hidrocarburos libres que pueden ser volatilizados fuera de la roca, a temperaturas menores de 300°C, sin craqueo del kerógeno.

S2 (mg HC/g roca): Corresponde a los hidrocarburos producidos durante el craqueo del kerógeno y representa el potencial existente en una roca para generar hidrocarburos.

S3 (mg HC/g roca): Corresponde a una medida del CO₂ producido durante la pirólisis del kerógeno (mg CO₂/g roca).

Tmax

Corresponde a la temperatura del horno (°C) en el momento de la generación máxima de hidrocarburos durante la pirólisis (Figura 1.12 B). La temperatura alcanzada en el pico S2 es registrada como Tmax (°C). Se considera una medida de la madurez termal del Kerógeno y en parte está controlada por el tipo de materia orgánica (Peters, 1986; en Law, 1999).

Hydrogen Index (HI = (S2/TOC) x 100)

Es un indicador de la cantidad de hidrógeno en el Kerógeno. Altos valores del HI indican alto potencial generador para hidrocarburos (HC) líquidos. Se mide en “mg HC/g TOC”.

Oxigen Index (OI = (S3/TOC) x 100)

Es un indicador de la cantidad de oxígeno en el Kerógeno. En general rocas con altos valores de OI y bajos de HI tienen poco potencial generador de HC líquidos. Se mide en “mg HC/g TOC”.

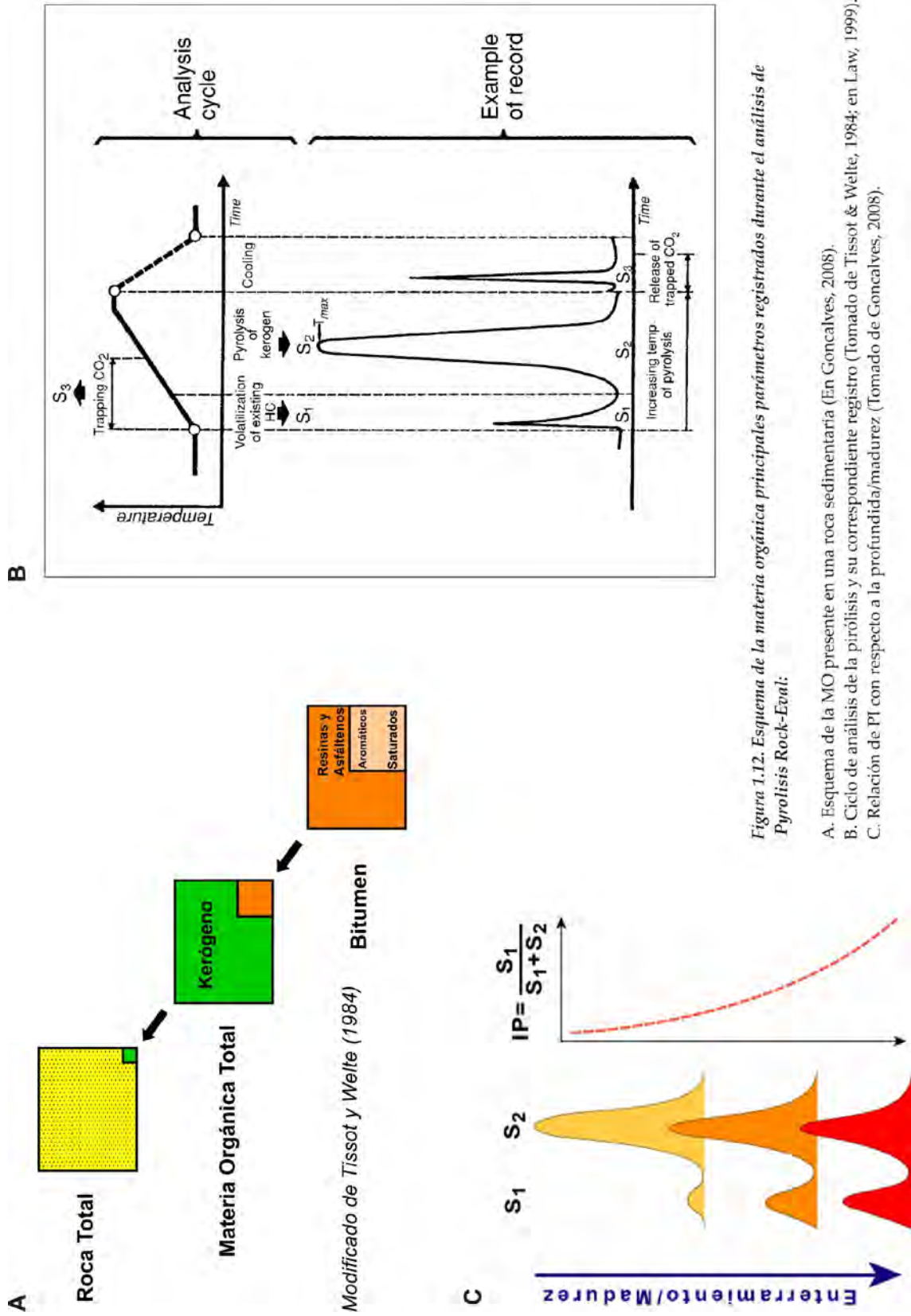


Figura 1.12. Esquema de la materia orgánica principales parámetros registrados durante el análisis de Pyrolysis Rock-Eval:

A. Esquema de la MO presente en una roca sedimentaria (En Goncalves, 2008).
 B. Ciclo de análisis de la pirólisis y su correspondiente registro (Tomado de Tissot & Welte, 1984; en Law, 1999).
 C. Relación de PI con respecto a la profundidad/madurez (Tomado de Goncalves, 2008).

Production Index (PI =S1/S1+S2)

Es una medida de la conversión del kerógeno en petróleo, correspondiendo por lo tanto una tasa de transformación. El PI aumenta con la profundidad en la medida en que el potencial generador de kerógeno (S2) es convertido en hidrocarburos libres (S1). Como consecuencia del proceso de expulsión y de la entrada en la ventana de gas, este índice (S2) normalmente disminuye (Figura 1.12 C).

REFLECTANCIA DE LA VITRINITA (%Ro)

Es una medida del porcentaje de luz incidente que es reflejada por las partículas de vitrinita presentes en una roca sedimentaria, dicha medición se realiza bajo inmersión de petróleo. Es referida como Ro (%) y frecuentemente sus resultados son presentados como una media del valor Ro, valor basado en todas las partículas de vitrinita medidas en una muestra de roca.

La vitrinita se vuelve anisotrópica en altos niveles de madurez (arriba de 1% Ro), resultando en términos de **Rmin** y **Rmax** para los valores de reflectancia mínimo y máximo obtenidos en la rotación de cada partícula.

Usualmente son realizadas medidas en 30 a 100 partículas de vitrinita (Figura 1.13 D). Son seleccionadas preferiblemente partículas de **Telocollinita**.

Actualmente es el parámetro de madurez más usado en el estudio de sistemas petroleros (Figura 1.13 E).

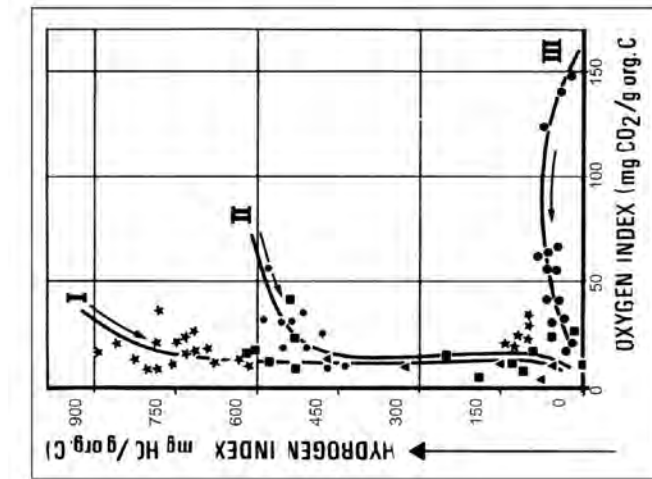
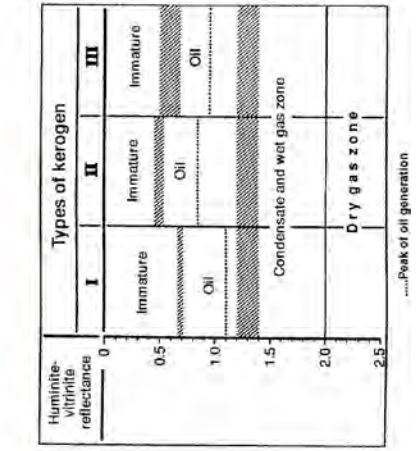
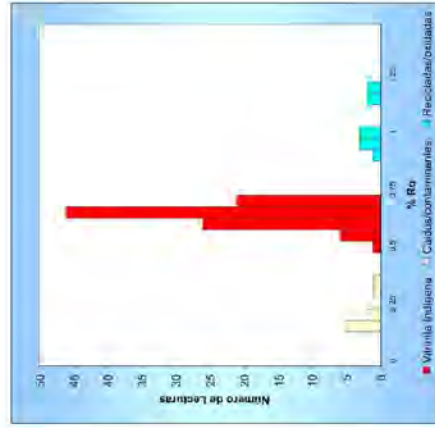
Durante el análisis es frecuente encontrar partículas de vitrinita caídas, recicladas y/o oxidadas, por lo que es necesario:

- Reconocer la vitrinita indígena
- Tener conocimiento de la cantidad de mediciones
- Reconocer la vitrinita contaminada por *caving*
- Identificar la vitrinita retrabajada y/o oxidada

Por lo tanto los exploradores siempre deben pedir y examinar el *raw data* así como los histogramas y la media de las mediciones de reflectancia de vitrinita (Figura 1.13 D).

C

Hydrocarbon Generation Zone	Rock-Eval Pyrolysis T_{max} °C
Immature	< 435
Oil (from type I kerogen)	435–455
Oil (from type III kerogen)	435–465
Gas (from type I kerogen)	> 455
Gas (from type III kerogen)	> 465



B

Kerogen Type	Predominant Hydrocarbon Potential	Amount of Hydrogen	Typical Depositional Environment
I	Oil prone	Abundant	Lacustrine
II	Oil and gas prone	Moderate	Marine
III	Gas prone	Small	Terrestrial
IV	Neither (primarily composed of vianiles) or inert material	None	Terrestrial(?)

Figura 1.13. Diagramas, tablas y relaciones utilizadas en el estudio de la calidad y madurez de la roca generadora:

- A. Diagrama Van Krevelen modificado, usado en la determinación del tipo de kerogeno (Tomado de Tissot & Welte, 1984; En Law, 1999).
- B. Calidad de la roca generadora en relación del tipo de kerogeno (Tomado de Tissot & Welte, 1984; En Law, 1999).
- C. Nivel de madurez de la roca generadora en relación al T_{max} para kerogenos tipo II y III (Tomado de Law, 1999).
- D. Reflectancia de vitrinita - histograma tipo para las mediciones (Tomado de Goncalves, 2008).
- E. Nivel de madurez de la roca generadora en relación a la reflectancia de vitrinita (Tomado de Tissot & Welte, 1984; En Law, 1999).

EVALUANDO LA CALIDAD DE LA ROCA GENERADORA

El ambiente deposicional es el factor dominante para determinar los tipos de materia orgánica presentes en una roca. Solo dos tipos de MO se encuentran en las rocas, las derivadas de organismos terrestres y las derivadas de algas acuáticas. El kerógeno está compuesto de una variedad de materiales orgánicos, incluyendo algas, polen, madera, vitrinita y materiales sin estructura.

Cada tipo de kerógeno contiene diferentes cantidades de hidrogeno con relación al carbón y al oxígeno. Dicha cantidad de hidrogeno lo define como tipo I, II ó III. Los tipos de kerógeno presentes en una roca controlan fuertemente el tipo de hidrocarburo generado por esa roca.

El contenido de hidrógeno presente en el kerógeno es el factor que controla el rendimiento de **petróleo vs. gas** proveniente de las reacciones de generación de hidrocarburo primario.

El tipo de kerógeno presente en una roca determina la calidad de la roca generadora (Figura 1.13 A y Figura 1.13 B).

ADVERTENCIA

El uso de la técnica HI/OI es solamente para determinar la calidad de roca generadora de **rocas inmaduras**. HI y OI cambian para una roca generadora madura, donde la cantidad de hidrogeno y oxígeno relativos al carbón decrece y el ratio HI/OI converge hacia el origen del *plot* (Figura 1.13 A) llevando a más de uno a interpretar dichos datos como Kerógeno tipo III – *gas prone*. Por lo tanto en rocas maduras HI/OI no es un indicativo de la calidad de kerógeno original.

EVALUANDO LA MADUREZ DE LA ROCA GENERADORA

Una vez que las siguientes preguntas: ¿Existe una roca generadora? y ¿Qué tipo de hidrocarburos generará?; han sido respondidas, es necesario averiguar si la unidad litológica en estudio ha generado hidrocarburos; lo cual significa averiguar su madurez en el *present-day*. Para ello interpretamos los datos que nos brindan el Tmax y la reflectancia de vitrinita.

Interpretando Tmax

Podemos usar los lineamientos generales para niveles de madurez dados en la Figura 1.13 C para valores de Tmax provenientes de pirólisis Rock-Eval para kerógenos tipo II y III.

Pirólisis Tmax puede ser significativamente diferente para kerógeno tipo I (Tissot et. al., 1987; en Law, 1999) ó kerógenos con alta concentración de sulfuros, para los cuales no es un confiable indicador de madurez termal.

Interpretando Reflectancia de Vitrinita

La maduración de la vitrinita es un proceso cinético, por lo que su relación con la generación de hidrocarburo es dependiente de la química de la vitrinita así como de la química del Kerógeno.

Zonas de Petróleo y gas

Los límites de dichas zonas pueden ser establecidos usando los datos de reflectancia de vitrinita. Los límites son aproximados y varían según el tipo de Kerógeno. La Figura 1.13 E muestra los límites aproximados para los kerógenos tipo I, II y III

La relación tiempo-temperatura y la mezcla de varias fuentes de materia orgánica pueden alterar estos límites (Law, 1999).

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En el presente capítulo se describen las unidades morfoestructurales, estratigráficas e intrusivas presentes en el área de estudio; y el contexto tectónico desarrollado durante el periodo Cretácico.

2.1 UNIDADES MORFOESTRUCTURALES

Dentro del área de estudio destacan cinco unidades morfoestructurales subparalelas al rumbo andino NO–SE: Talud Continental, Plataforma Continental, Cordillera de la Costa, Franja Costera y las Estribaciones Occidentales (Figura 2.1).

2.1.1 Talud Continental

Se extiende de 60 a 130 Km. tierra adentro a partir del eje de la Fosa Perú-Chile. Desde los 6° 40'S (Chiclayo) hasta los 9° 30'S (Casma) posee un ancho promedio de 90 Km. y un fondo oceánico extremadamente irregular y solo al norte de los 7°S es disectado por cañones submarinos (Azalgara, 1993).

Desde los 9° 30'S (Casma) hasta los 12°S (Lima) se caracteriza por la ausencia de grandes cañones submarinos, siendo el rasgo más prominente el *Lima Plateau*. Dicha meseta esta localizada sobre el Talud superior y se encuentra a una profundidad de agua de 1500 a 2000 m. En esta zona el relieve del Talud es menos prominente y más suave en comparación con la zona norte (Masias, 1976).

2.1.2 Plataforma Continental

En el *sensu stricto* comprende el fondo marino que se extiende desde la línea de costa hasta una profundidad de 200 m., pero según el análisis geológico comprende el área de desarrollo de las Cuencas de Antearco y acorde con Azalgara (1993) está expuesta en tierra al norte de los 6°S y al sur de los 13° 30'S e incluye la Cordillera de la Costa, la cual se encarga de diferenciar las Cuencas de Antearco en internas y externas.

Basado en estudios batimétricos la plataforma posee una topografía casi horizontal, con cambios en el relieve submarino que son observados localmente y con presencia de algunas cadenas de islas dentro de las cuales poseen suma importancia geológica las Islas de Las Hormigas, Lobos de Afuera y Lobos de Tierra. En el área de estudio la plataforma se encuentra desprovista de cañones submarinos y bancos submarinos (Masias, 1976).

2.1.3 Cordillera de la Costa

Se denomina como tal a la cadena discontinua de afloramientos de rocas Proterozoicas y Paleozoicas que se evidencian a lo largo de la franja costera en 2 segmentos. El segmento Norte comprende los Cerros Amotape, la Silla de Paita, los Cerros Illescas y las islas Lobos de Tierra y Lobos de Afuera, y consiste de metasedimentos siliciclásticos (cuarcitas filitas y esquistos) de edad Paleozoico inferior a medio intruídos por granitos Triásicos (Bellido, 2008). El segmento Sur se extiende desde Pisco hasta Tacna y consiste de rocas metamórficas de facies granulíticas y esquistos de edad Precámbrica, y metasedimentos de edad Paleozoica intruídos por plutones del Paleozoico inferior y Jurásico. Ambos segmentos conforman cadenas de cerros con suaves ondulaciones que no sobrepasan los 500 m. de altitud.

La interpretación sísmica, la extrapolación de los *trends* estructurales regionales y los datos gravimétricos y magnetométricos (Jones, 1981; Thornburg & Kulm, 1981) manifiestan en el offshore una continuidad entre ambos segmentos, representada por una cadena discontinua de altos de basamento que infrayacen a sedimentos Cenozoicos, y posee evidencias en *cuttings* y algunos *cores* de los pozos Ballena 1-X, Delfín 1-X y Morsa 1-X (Repsol, 1999a).

Litológicamente tenemos las siguientes evidencias:

Ballena 1-X (3160' – 3198')

Rocas metamórficas compuestas de cuarzo hialino, feldespato y micas (biotita y muscovita) (Petroperu, 1971a y Parsep, 2001).

Delfín 1-X (8560' – 8743')

Rocas metamórficas compuestas por esquistos cristalinos y fillitas grises, grises oscuras y fragmentos de cuarzo lechoso (Petroperu, 1971b y Parsep, 2001).

Morsa 1-X (3838' – 4202')

La descripción de los *cuttings* sugiere la presencia de esquistos. En tanto el único *sidewall core* recuperado a 4150' (1265 m.) contiene minerales alterados de biotita, cuarzo, andesina, probables anfíboles y moderadas cantidades de magnetita/ilmenita; que podrían corresponder a rocas metamórficas, sin embargo por el pequeño tamaño de la muestra la posibilidad de un sill, dique o un canto de conglomerado no se descarta (Repsol 1999a).

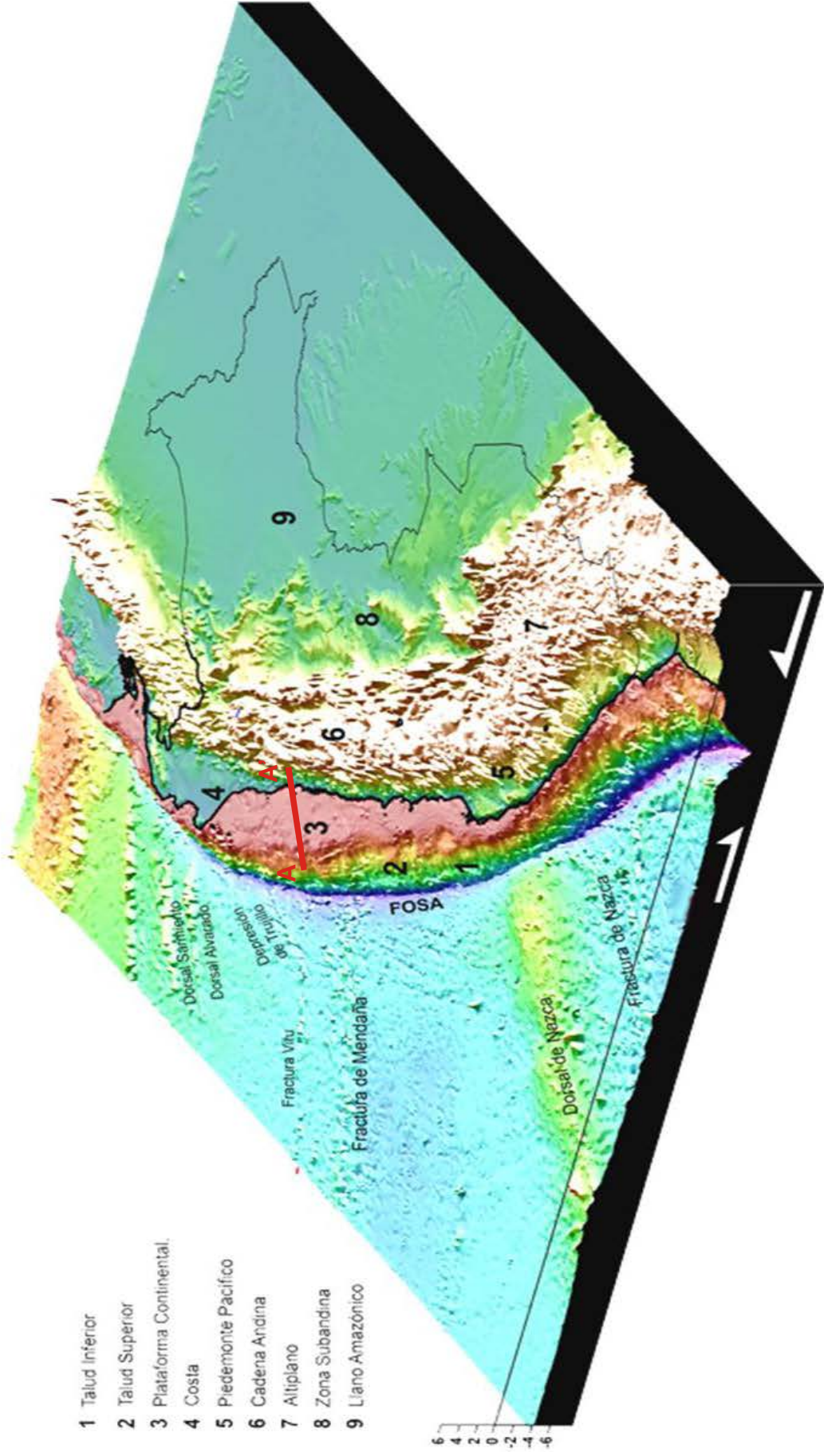


Figura 2.1. Unidades morfoestructurales del Perú (Tomado de Reporte interno Savia, 2010). La sección A-A' es mostrada en la Figura 2.2.

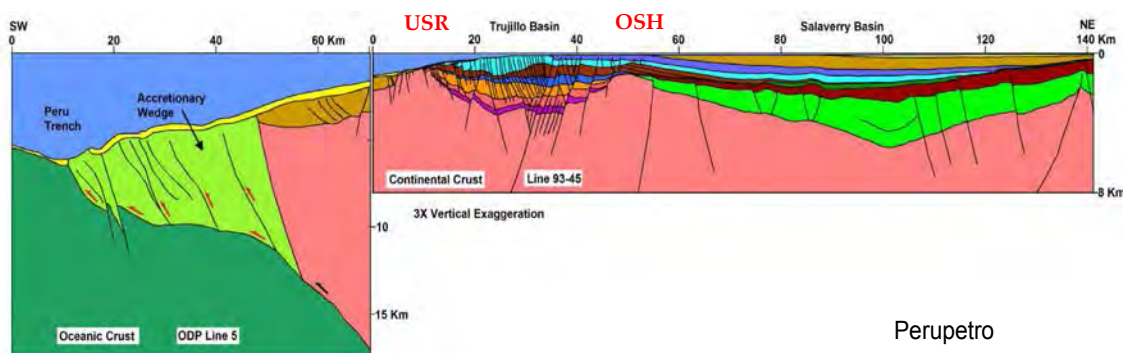


Figura 2.2. Sección A-A', donde se muestra los dos altos de basamento reconocidos en offshore: Outer Shelf High (OSH) y el Upper Slope Ridge (USR).

2.1.4 Franja Costera

Es una franja estrecha de dirección andina NO–SE que se extiende a lo largo del borde occidental del continente, posee entre 16 y 45 Km. de ancho y su altitud varía entre 0 y 300 m. Comprende los afloramientos que poseen la mayor accesibilidad para el reconocimiento geológico de superficie.

En esta unidad afloran la secuencia volcano-sedimentaria del Gpo. Puente Piedra (Puente Piedra), las secuencias silicoclásticas correspondientes al Gpo. Morro Solar (Chorrillos, Pasamayo-Serpentín) y al Gpo. Goyllarisquizga (Malabrigo, Cherrepe y Chiclayo), las Fms. Pamplona-Atocongo-Pucusana (Las Casuarinas, Pamplona), las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo (Puemape, Talambo y Mocupe), la secuencia volcano-sedimentaria del Gpo. Casma (Huacho, Huarmey) y la secuencia calcárea correspondiente a los Gpos. Pulluicana-Quilquiñan (Puemape, Saltur y San Nicolás).

2.1.5 Estribaciones Occidentales

Se presentan sobre el extremo oriental de la Franja Costera, son consideradas el pie de la Cordillera Occidental y consisten de pequeñas cadenas de cerros que alcanzan los 1000 msnm. Las laderas tienen pendientes muy suaves en la parte occidental, aunque es posible que formen acantilados cuando llegan al litoral. En la parte oriental presentan pendientes moderadas a fuertes, las que se hallan disectadas por las desembocaduras de los valles.

En esta unidad se ha estudiado la secuencia Jurásica–Cretácica Chicama–Goyllarisquizga presente en el Valle del Río Chicama y en Baños Chimú.

2.2 ESTRATIGRAFÍA GENERALIZADA

La litoestratigrafía en la franja costera y las estribaciones occidentales del área de estudio consiste casi enteramente de rocas mesozoicas y rocas volcánicas cenozoicas, dispuestas discordantemente sobre rocas plutónicas pertenecientes a los diferentes segmentos del Batolito de la Costa. Acorde con esto aún no se tienen evidencias de unidades pre-mesozoicas, y es necesario mencionar que se han reconocido secuencias sedimentarias de posible edad Cenozoica en las localidades de Huacho, Malabrigo, Cherrepe y Eten (presente investigación).

Del mismo modo en el offshore del área de estudio se tiene evidencias de rocas de posible edad Precámbrico – Paleozoico (Ballena 1-X, Delfín 1-X y Morsa 1-X). Por el contrario aún no se tiene registro de unidades Triásicas ni Jurásicas, sin embargo el pozo Lobos 1-X atravesó lutitas, areniscas y conglomerados asignados según los análisis palino-paleontológicos al Campaniano-Maestrichtiano (Repsol, 1999b). Así mismo se tiene registro de unidades correspondientes al Eoceno, Mioceno, Plioceno y Cuaternario (Ballena 1-X, Delfín 1-X, Morsa 1-X y pozos ODP).

2.2.1 Basamento de la Plataforma Continental y Costa

A partir de la tesis de Chew (2007) se plantean una serie de problemas, entre los cuales tenemos la presencia de dos arcos magmáticos Ordovícicos, interpretados en base a datos radiométricos. Como solución dicho autor propone la existencia de una zona de subducción poco convencional (Figura 2.3); basándose en estudios isotópicos tomados de Pethford (1996), y en consecuencia afirma la presencia de corteza oceánica en el Perú Central, lo cual Ramos (2009a) calificó como una falacia.

Evidencias de corteza continental en el Perú Central

Pethford (1996) estudia los afloramientos del Batolito costero y reconoce que los isótopos de **Hafnio y Neodimio** poseen valores muy positivos, arriba de +4%, lo cual indicaría una proveniencia directa del manto, ya que los valores de -3 a -5% provienen de corteza continental, por lo cual Pethford concluyó que el Batolito Costero es un material juvenil derivado directamente del manto.

Es necesario mencionar que los arcos magmáticos se diferencian, y podemos tomar como ejemplo el arco magmático de Nicaragua donde se originan basaltos en profundidad y llegan basaltos en superficie, lo cual indicaría que la roca no evolucionó como consecuencia de la ausencia de corteza siálica (pues la roca no tuvo con que contaminarse) ó porque la actividad magmática se desarrolló en un régimen extensional (Ramos, 2009a).

Acorde con esto podemos mencionar que el Batolito Costero del Perú se fue generando durante el Cretácico Inferior y se emplazó durante el Cretácico Superior. Durante su generación las rocas provenientes de la astenósfera sufrieron cristalización fraccionada y pasaron a tener composición granítica pero no asimilaron grandes cantidades de roca caja durante su emplazamiento debido a la actividad del régimen extensional, esto explicaría la fuerte preponderancia de material básico en las rocas del Batolito (Pethford et. al., 1996).

Chew (2007) soporta su tesis en la hipótesis propuesta por Polliand (2005), quien interpreta la ausencia de corteza continental entre los 9°S y 13°S basándose en isótopos de Hf obtenidos sobre zircones que brindan valores entre 5.9 ± 0.4 y 6.6 ± 0.5 , así mismo enfatiza la ausencia de zircones de edad Proterozoica en rocas del Batolito Costero y presenta perfiles gravimétricos que develan zonas con densidad de 3 g/cm^3 (Couch et. al., 1981; Jones, 1981).

La hipótesis de Polliand (2005) claramente permite explicar la componente positiva de los isótopos de Hf que poseen las rocas del Batolito Costero, sin embargo la zona que propone como corteza oceánica tendría que manifestar una fuerte anomalía de bouguer positiva similar a lo que ocurre en Ecuador y en Colombia (debido a la presencia de substrato oceánico), lo cual no sucede (Reporte interno Savia).

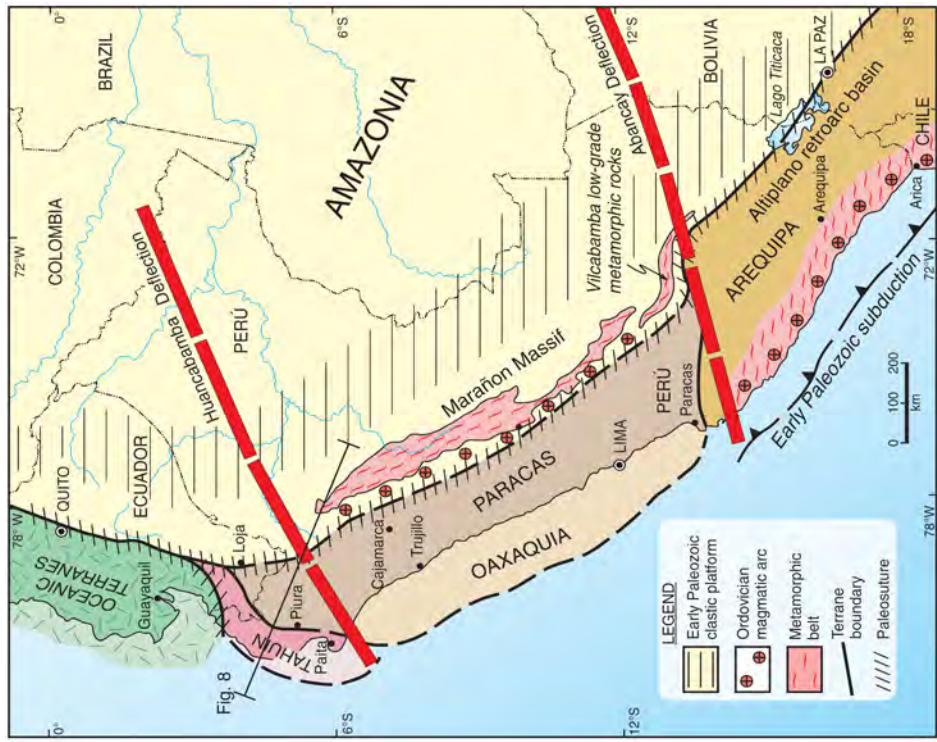


Figura 2.4. Paleosutura planteada por Ramos (2009) para resolver la presencia de los dos arcos Ordovícicos.

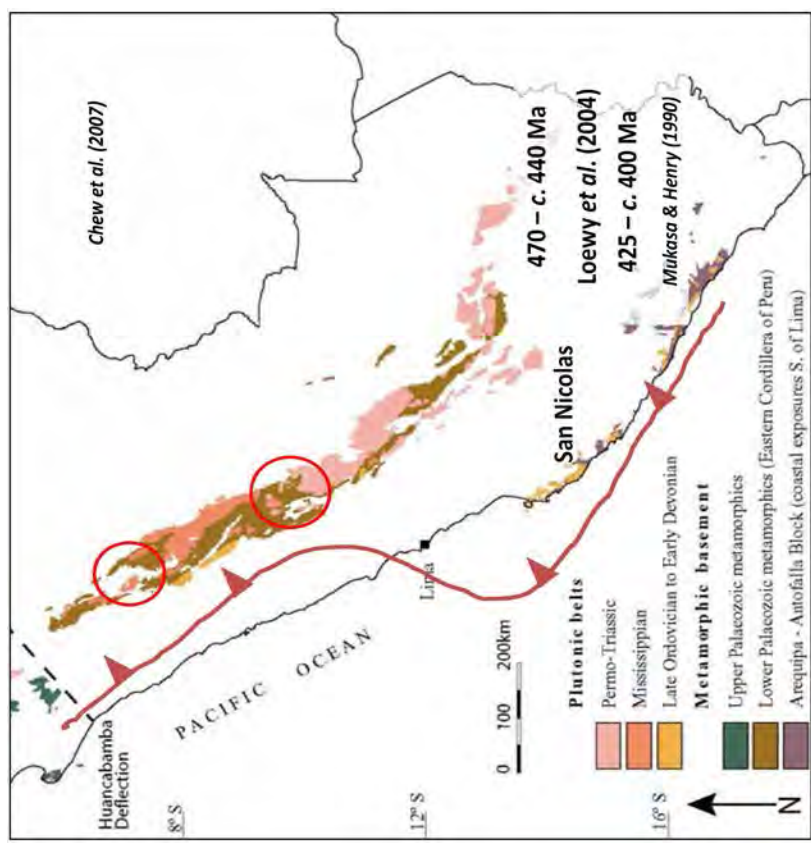


Figura 2.3. Zona de Subducción poco convencional planteada por Chew (2007), para resolver el problema de los dos arcos magnéticos Ordovícicos.

Ramos (2009b) propone como substrato de las cuencas de antearco peruano al Bloque de Paracas (Figura 2.4) que estaría expuesto en la Isla de las Hormigas (Kulm et. al., 1981; en Thornburg & Kulm, 1981).

Los afloramientos Precámbricos–Paleozoicos más cercanos a la zona de estudio corresponden a la Cordillera de la Costa y al Complejo Marañón, mientras que el reconocimiento geológico de campo en las islas Lobos de Tierra, Lobos de Afuera (Savia, 2006) y Las Hormigas (Kulm et. al., 1981; en Thornburg & Kulm, 1981) brinda evidencias de rocas metamórficas asignadas como Precámbricas–Paleozoicas, así mismo los pozos perforados en la Cuenca Trujillo (Ballena 1-X, Delfín 1-X y Morsa 1-X) llegaron hasta unidades litológicas compuestas por filitas y esquistos de posible edad Precámbrica–Paleozoica.

Todos estos datos integrados a la información sísmica, gravimétrica y magnetométrica permiten considerar que dichas unidades litológicas conformarían el Basamento cristalino de la Plataforma y Costa del Perú Central.

2.2.2 Paleozoico

Aún no se tienen evidencias de rocas de dicha edad en el área de estudio. Los afloramientos Paleozoicos más cercanos corresponden hacia el Norte (Bayovar) al Gpo. Amotape, conformado por fillitas, cuarcitas y esquistos; mientras que hacia el Sur corresponden al Gpo. Ambo (3 Km. al SO de Paracas), conformado por lutitas negras carbonosas con restos de plantas y areniscas cuarzosas (Savia, 2009b). Sin embargo en los pozos Delfín 1-X y Morsa 1-X (Petroperu, 1971) se han reconocido metasedimentos descritos como esquistos y fillitas de posible edad Paleozoica, acorde con esto las imágenes FMI del pozo Morsa 1-X muestran que el basamento está caracterizado por un patrón de capas que podrían corresponder a rocas originalmente sedimentarias (Repsol, 1999c).

2.2.3 Mesozoico

Ampliamente distribuido sobre la Franja costera y Estribaciones occidentales del área de estudio y con evidencias en el pozo Lobos 1-X (Repsol, 1999b).

2.2.3.1 Triásico – Jurásico

Hacia el norte del área de estudio, en el Valle del Río la Leche, aflora la secuencia mayormente calcárea correspondiente a la Fm. La Leche de edad Triásico superior – Jurásico inferior. Sobreyaciendo se tiene registro de rocas Jurásicas conformadas por: los depósitos mayormente volcánicos, conocidos como Fm. Oyotún ó Colán, de edad Jurásico medio; los depósitos marinos correspondientes a la Fm. Chicama de edad Jurásico superior (Jacay et. al., 2004) y la secuencia volcano–sedimentaria del Gpo. Puente Piedra, de edad Tithoniano – Berriasiano, que aflora en los alrededores de Lima (Savia, 2009c). En el offshore del área de estudio aún no se tiene registro de unidades Triásicas ni Jurásicas.

2.2.3.2 Cretácico

El área sujeta a investigación posee un dominio superficial de las rocas Cretácicas, dentro de las cuales tenemos; los Depósitos del Cretáceo inferior, representados por las secuencias silicoclásticas del Gpo. Morro Solar (Fernandez, 1958) y Gpo. Goyllarisquizga (Benavides, 1956; Cobbing, 1981); los Depósitos Albianos, representados por la secuencia volcano–sedimentaria del Gpo. Casma, las Fms. Pamplona–Atocongo y la secuencia mayormente calcárea de las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo (Benavides, 1956; Cobbing, 1981); y los Depósitos del Cretácico superior, representados por las secuencias calcáreas pertenecientes a los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan (Benavides, 1956; Cobbing, 1981).

Así mismo sobre la Cuenca Trujillo el pozo Lobos 1-X atravesó lutitas, areniscas y conglomerados asignados según los análisis palino-paleontológicos al Campaniano–Maestrichtiano (Repsol, 1999b), siendo correlacionables con la Fm. Redondo (Fischer, 1956; Castro, 1991) del Noroeste del Perú. Además es necesario mencionar que los depósitos volcano–sedimentarios de edad Cretáceo Superior–Paleoceno reconocidos al

Norte de Chancay en la Mina María Teresa (Polliand, 2005; Romero, 2007) no han sido considerados dentro del presente estudio.

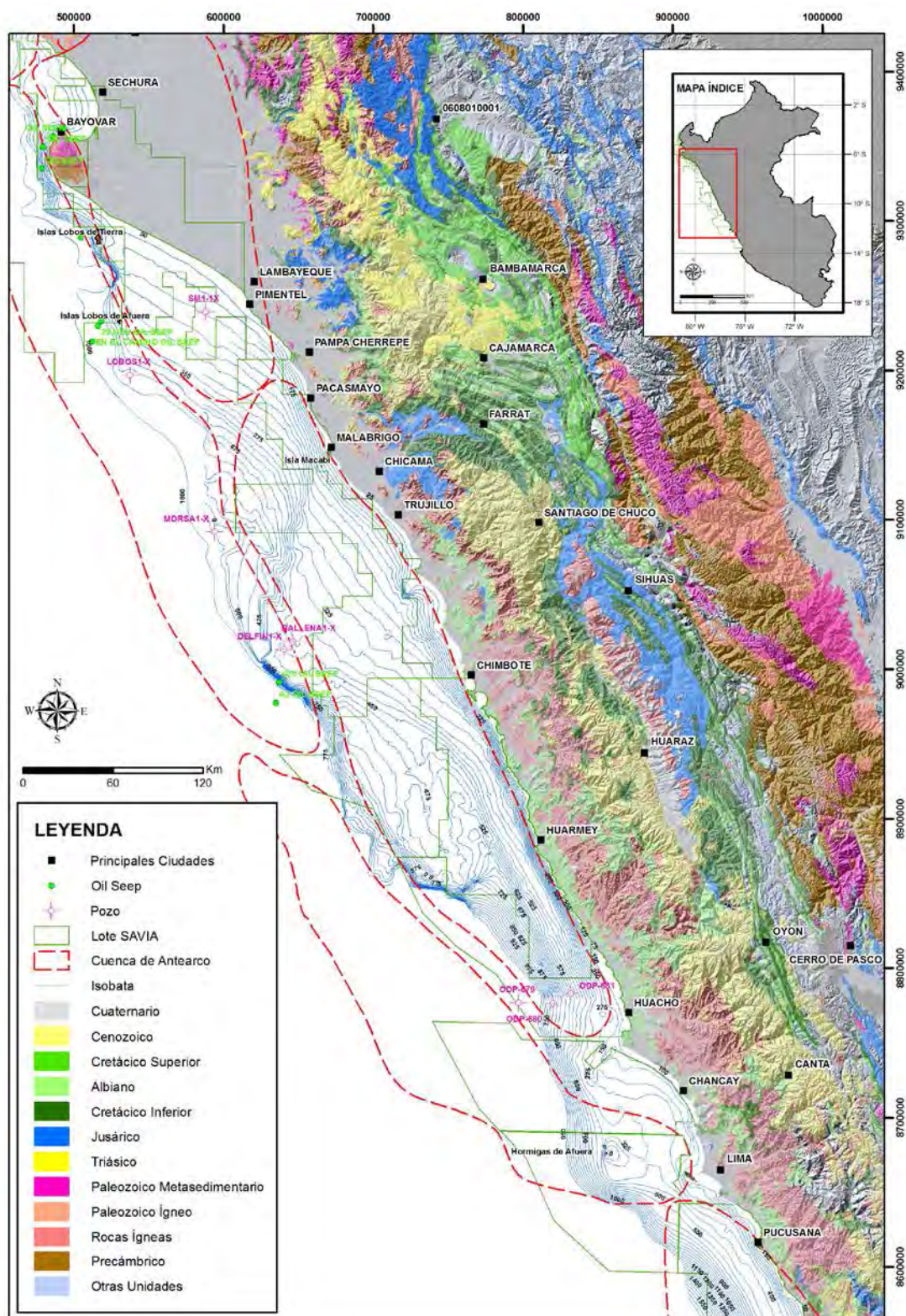


Figura 2.5. Mapa geológico regional del área de estudio.

2.2.4 Cenozoico

Posee registro desde Malabrigo por el Sur hasta Chiclayo por el Norte, está representado por la secuencia volcano-sedimentaria del Gpo. Calipuy, que sobreyace en discordancia angular indistintamente a las secuencias Mesozoicas e intrusivos del Batolito.

Sin embargo a lo largo de la Costa del Perú Central se han identificado a través del análisis de imágenes satelitales (Google Earth) secuencias sedimentarias de posible edad Cenozoica; las cuales se han reconocido en Huacho, Malabrigo, Cherrepe y Eten (Presente investigación).

En los alrededores de Huacho se han reconocido bancos de arenisca beige de grano fino con laminación paralela; mientras que en la Playa Hornillos se evidencian facies conglomerádicas hacia la base que pasan de manera transicional a bancos de arenisca beige de grano medio, masiva, en parte deleznable, bien clasificada y de buena porosidad visual que hacia el tope presentan estratificación cruzada (Savia, 2009d).

En Eten se ha reconocido una secuencia de areniscas que aflora a lo largo de la playa a manera de acantilados con un espesor aproximado que varía entre 15 a 40 m (Savia, 2009e).

Las últimas dataciones realizadas en tobos de algunas terrazas en los alrededores de Lima brindan edades Miocenas (Noble et al. 2009), lo cual evidencia la presencia de secuencias sedimentarias de edad Cenozoica.

Así mismo en el offshore del área de estudio se tiene registro de unidades correspondientes al Eoceno, Mioceno, Plioceno y Cuaternario (Ballena 1-X, Delfín 1-X, Morsa 1-X, Lobos 1-X y pozos ODP).

2.2.5 Depósitos Cuaternarios

Respecto a los depósitos cuaternarios que cubren el área de estudio, se han diferenciado dos tipos de depósito: los depósitos del Pleistoceno y Holoceno, denominados depósitos Cuaternarios, que agrupan todos los depósitos aluviales, fluviales, marinos y coluviales; y por otro lado tenemos los depósitos eólicos actuales.

2.3 ROCAS INTRUSIVAS

La franja costera y las estribaciones del área de estudio presentan cuerpos plutónicos pertenecientes al Batolito de la Costa. De acuerdo a la disposición espacial y evolución magmática dichos intrusivos conforman los afloramientos más occidentales dentro del dominio occidental del Batolito de la Costa (Figura 2.5).

BATOLITO DE LA COSTA

Corresponde a uno de los ensambles plutónicos más extensos y más importantes de los Andes (Soler, 1991). Este ensamble plutónico calco–alcalino estructuralmente forma una franja de dirección NO-SE que se extiende de manera “continua” sobre toda la Costa peruana, posee entre 30 y 80 Km. de ancho y aproximadamente 2000 Km de largo, aunque sumando los plutones aislados que se extienden en el alineamiento plutónico desde Chile al Ecuador, la longitud alcanza 2600 Km (INGEMMET; Romero, 2007).

Los primeros estudios y los más completos del Batolito de la Costa fueron realizados por Pitcher et. al. (1985) quienes dividieron toda la franja del Batolito, en cinco segmentos. De Norte a Sur se tiene el Segmento Piura, Segmento Trujillo (Figura 2.8), Segmento Lima (Figura 2.9), Segmento Arequipa y Segmento Toquepala.

Posteriormente Soler (1991) realiza una reinterpretación de esta franja de intrusivos y propone una subdivisión de episodios de emplazamiento en base a las edades radiocronológicas. En base a dataciones realizadas principalmente por el método U–Pb y relaciones estratigráficas con rocas volcánicas infrayacientes y suprayacientes, los intrusivos del Batolito de la Costa fueron divididos en tres etapas de intrusión:

Primera etapa de Intrusión: entre 105 y 90 Ma; relacionada con los depósitos volcano–sedimentarios del Grupo Casma.

Segunda etapa de Intrusión: entre 90 y 70 Ma; no tiene depósitos volcánicos contemporáneos.

Tercera etapa de Intrusión: entre 70 y 60 Ma, relacionada con depósitos volcano–sedimentarios del Cretácico superior – Paleoceno (Romero, 2007).

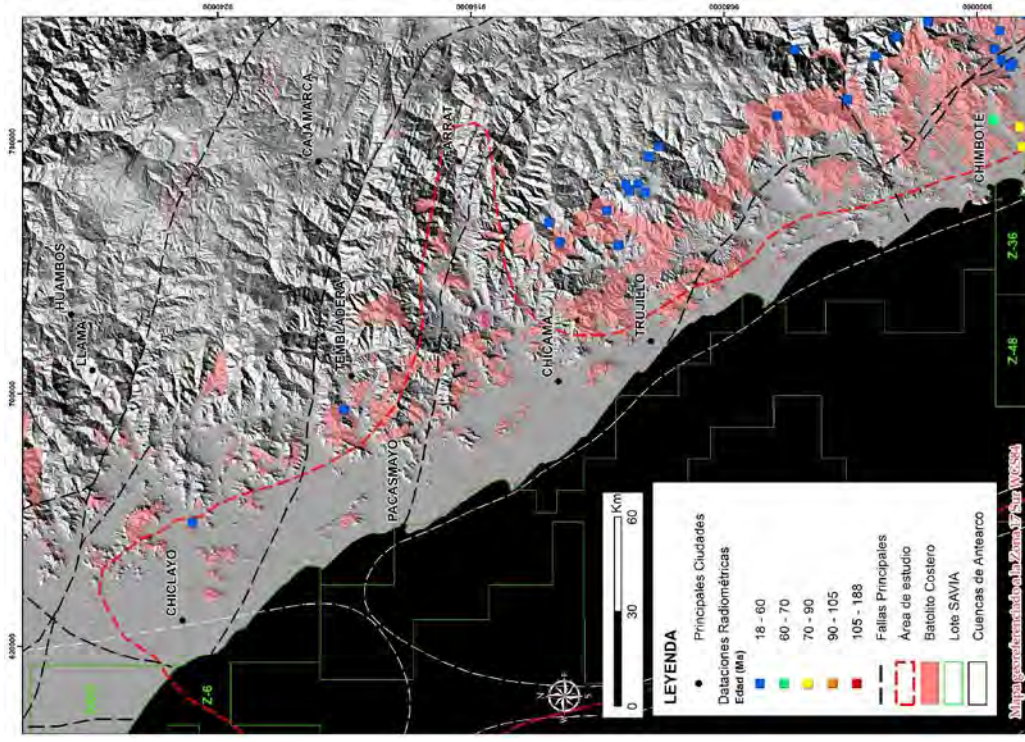


Figura 2.8. Batolito Costero – Segmento Trujillo, con sus respectivos datos radiométricos.

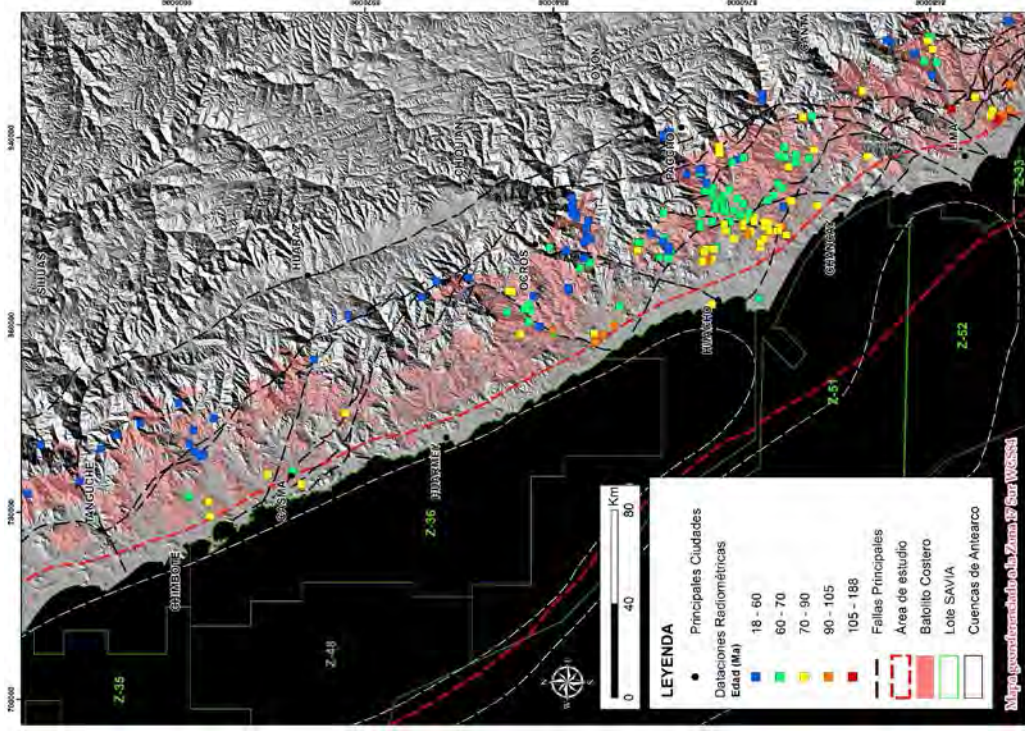


Figura 2.9. Batolito Costero – Segmento Lima, con sus respectivos datos radiométricos.

Los Intrusivos entre 105 y 90 Ma forman parte de los plutones ubicados en el extremo oeste del Batolito de la Costa. Corresponden a las Superunidades Santa Rosa (facies Huaricanga y Corralillo), Patap, Jecuan y Tiabaya (Pitcher et al., 1985); así como también a unidades no asignadas como Lachay. Estos intrusivos tienen composiciones que van de gabros, tonalitas, granodioritas hasta monzogranitos.

Los intrusivos son de pequeñas dimensiones e intruyen a rocas del Cretácico inferior (Gpo. Morro Solar, Pamplona-Atocongo-Pucusana y Grupo Casma). Estos intrusivos estarían relacionados con los depósitos volcánicos del Grupo Casma.

Los intrusivos entre 90 y 70 Ma, corresponden a los plutones ubicados en la parte centro–occidental de los afloramientos del Batolito de la Costa; los que corresponden a los valles de Huaura–Chancay y los sectores de Lima y el valle de Mala. Comprenden las Superunidades de Patap, Santa Rosa (facies Huaricanga y Corralillo) y Humaya (Pitcher et al., 1985). Presentan dimensiones medianas. La composición de estos intrusivos varían de gabros, tonalitas, granodioritas hasta monzogranitos e intruyen a rocas del Cretácico inferior (Grupo Morro Solar, Formaciones Pamplona-Atocongo-Pucusana y Grupo Casma). No se han determinado los productos volcánicos equivalentes a estos intrusivos.

Finalmente, la etapa de las intrusiones entre 70 y 60 Ma, corresponde a los mayores volúmenes del Batolito de la Costa, estos plutones abarcan toda la parte oriental del Batolito de la Costa. Comprenden las superunidades de Patap, Paccho, Santa Rosa (facies Huaricanga y Corralillo), San Jerónimo, Puscao, Sayan y Humaya (Pitcher et al., 1985). La composición de estos intrusivos es variable presentándose gabros, tonalitas, granodioritas hasta monzogranitos; afloran desde la Quebrada de Pativilca al norte, pasando por Sayan, Chosica hasta el valle de Mala. Intruyen a rocas del Grupo Casma y a los depósitos del Cretácico superior. Estos intrusivos estarían relacionados al vulcanismo del Cretácico Superior – Paleoceno (Polliand, 2005 y Romero, 2007).

2.4 CONTEXTO TECTÓNICO

El offshore y la franja costera del Perú Centro–Norte poseen una evolución tectónica asociada al Ciclo Orogénico Andino (Megard 1978; Ramos 2009b) producto de los diferentes procesos asociados a la subducción entre la Placa oceánica, actual Placa de Nazca, y la Placa Sudamericana. Dichos procesos son: empinamiento de la placa oceánica, engrosamiento cortical, generación de un arco magmático, erosión cortical, variación de la velocidad de *roll-back* y variación del régimen termal; los cuales han actuado en diferentes estadios generando así la actual configuración tectónica.

El Ciclo Andino comienza en el Triásico, con un periodo de quietud y tranquilidad donde no hubo subducción y todo se estaba resquebrajando debido a la rotura de Pangea, en dicho estadio predomina el régimen extensional con evidencias de depósitos de sin–rift correspondientes al Gpo. Pucara (Rosas, 2007; en Ramos 2009a).

Posteriormente una importante actividad volcánica durante el Jurásico medio a superior con componente de arco volcánico (Mourier et. al., 1988; Romeuf et. al., 1995) representada por la Fm. Oytotun – Colan, evidencia la existencia de un arco magmático producto de una zona de subducción activa desde ~180 Ma (Jaillard et. al., 1995; Ramos, 2009a), de esta manera comienza la subducción en los Andes como consecuencia de la apertura del Océano Indico a raíz del punto caliente del Carrot.

Como producto de la rotura de Gondwana, África–América del Sur se desplazan en la misma dirección que la Placa Oceánica, generando una tasa de estiramiento muy importante que se refleja en el antearco, en el arco volcánico y en el retroarco; de esta manera todo el sistema estuvo dominado por un régimen de subducción extensional y África–América del Sur tenían una velocidad de *roll-back* negativa.

El régimen extensional continuó durante el Cretácico inferior (Berriasiano–Aptiano) donde el fallamiento normal generó depocentros limitados por altos estructurales, lo cual condicionó la continuidad de los depósitos silicoclásticos pertenecientes al Gpo. Morro Solar y Gpo. Goyllarisquiza, de tal manera que de un depocentro a otro es muy difícil realizar correlaciones porque cada depocentro posee características conspicuas (Figura 2.10).

Así mismo nuevos datos radiométricos de la Fm. Pucusana (Romero et. al., 2005) datados en 127.1 ± 1.6 Ma (Barremiano medio), sugieren la presencia de un magmatismo precursor a los Volcánicos Casma (Albiano - Cenomaniano), lo cual indicaría un periodo de reactivación de la zona de subducción después de un periodo de calma entre el Berriasiano y el Barremiano.

Durante el estadio Aptiano – Albiano (125–105 Ma) se produce la apertura del Atlántico Sur; interrumpiéndose la extensión, la cual deja de ser activa, y manifestándose un régimen pasivo (neutro) con velocidad de *roll-back* igual a cero, lo que permitió el desarrollo de grandes cuencas Cretácicas producidas básicamente por enfriamiento térmico y donde sus depocentros coinciden con los antiguos ejes de formación de sin-rift (Figura 2.10).

De esta manera durante el Albiano se produce la deposición de extensos depósitos marinos y plataformas carbonatadas, tanto en el antearco (Fm. Muerto–Pananga) como en el trasarco (Fms. Inca–Chulec–Pariatambo); que están relacionadas a una atenuada actividad volcánica asociada a un proceso transgresivo y a un evento anóxico global (Haq et. al., 1987; Goncalves, 2008; Timoteo, 2010). Dicha actividad volcánica corresponde al Gpo. Casma del Perú Central, que se desarrolló en un periodo de adelgazamiento cortical producto de la extensión y sin formación de corteza oceánica, siendo su génesis aún un tema de discusión (Pethford et. al., 1996 y Soler, 1991).

Acorde con esto, datos radiométricos de la Superunidad Patap brindan edades de 107-100 Ma (Cobbing et al., 1977; en Romero, 2007), en tanto que los isótopos de Hf y Nd poseen valores muy positivos, arriba de +4% (Pethford et. al., 1996), lo que indicaría que el Batolito Costero no asimiló suficiente roca caja debido a que se emplazó en un régimen extensional (Ramos, 2009a). Posteriormente se interrumpe totalmente el régimen extensional, cambiando la velocidad de *roll-back* a positiva y pasando a un régimen de subducción compresivo a partir del Turoniano (Azalgara, 1993 / Figura 2.10).

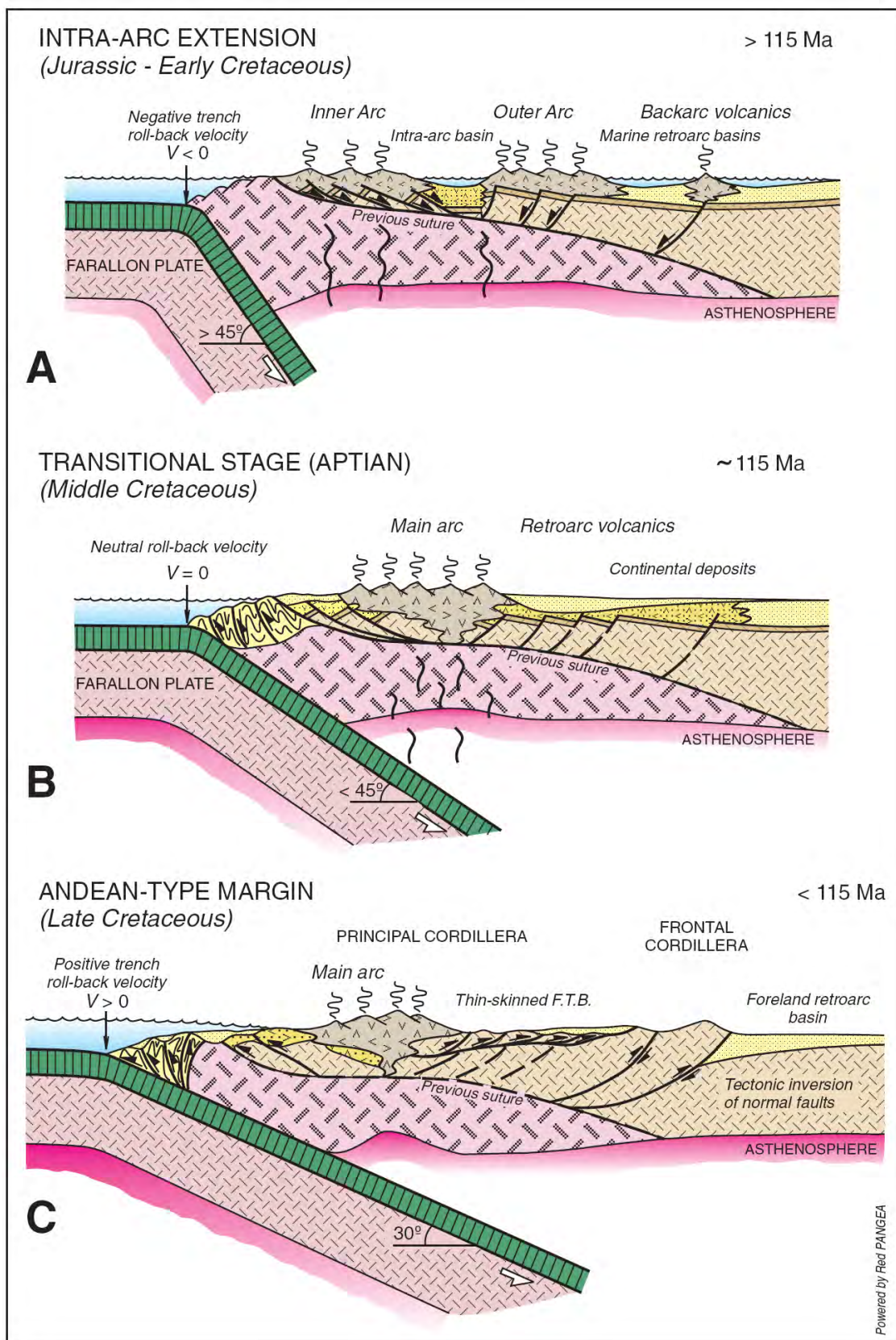


Figura 2.10. Tres diferentes estadios de la subducción durante el Mesozoico – Cenozoico, relacionado a la velocidad de roll-back y a los procesos generados. (Modelo conceptual tomado de Ramos, 2009b).

Benavides–Cáceres (1999), define que a partir del Campaniano inferior, se producen una serie de fases tectónicas compresivas; como es el caso de la fase Peruana (84 Ma – 79 Ma), Incaica I (59 Ma – 55 Ma), Incaica II (43 Ma – 42 Ma), Incaica III (30 Ma – 27 Ma), Incaica IV (22 Ma), Quechua I (17 Ma), Quechua II (8 Ma – 7 Ma) y Quechua III (5 Ma – 4 Ma), las cuales se encargan de la formación de los Andes.

Cabe resaltar que para el análisis del régimen de subducción compresivo es necesario tomar en consideración dos puntos: primero es fundamental conocer los picos de erosión cortical porque están asociados a fases extensionales en el antearco; y segundo es necesario saber que en tectónica moderna las fases diastróficas, se generan en intervalos de tiempo geológico y no afectan con la misma intensidad diferentes zonas geográficas, por ende el registro que imprimen en las unidades litoestratigráficas (discordancias locales), corresponden a edades diferentes que pueden formar parte de un mismo periodo o estadio (Ramos, 2009a).

CAPÍTULO III

ESTRATIGRAFÍA DEL CRETÁCICO DE LA COSTA Y PLATAFORMA CONTINENTAL DEL CENTRO–NORTE DEL PERÚ

Las diferentes unidades Cretácicas comprenden aproximadamente 65% de la superficie onshore del área de estudio y poseen un registro cronoestratigráfico muy completo, fundamentado en evidencias bioestratigráficas y radiométricas (Benavides, 1956; Fernandez, 1958; Rivera, 1975; Myers, 1980; Guevara, 1980; Romero et. al 2005; Romero, 2007), lo cual integrado al estudio de sus características sedimentológicas, estratigráficas y algunos rasgos tectónicos y eustáticos han permitido diferenciar los Depósitos Cretácicos en tres secuencias de segundo orden; acorde con Vail et. al., 1991; Einsele, 1992 y Catuneanu, 2006.

En el presente capítulo se ha plasmado el reconocimiento geológico de superficie; así como la interpretación de líneas sísmicas regionales offshore, recopilando las características más conspicuas de los Depósitos Cretácicos y proponiendo su diferenciación.

3.1 GEOLOGIA DE LA COSTA Y ESTRIBACIONES (ONSHORE)

Para el reconocimiento de campo se revisó la bibliografía de las “localidades tipo” de los **Depósitos Cretácicos** y con la finalidad de aportar con la cartografía geológica nacional se seleccionaron como estaciones de trabajo, áreas que poseen pocos datos bibliográficos ó en su defecto los datos no son públicos ó son controversiales. Las mencionadas estaciones se agrupan en 4 zonas de trabajo principales (Figura 3.1):

- Lima – Huacho
- Punta Gramadal – Huarmey
- Trujillo – Pacasmayo
- Pacasmayo – Chiclayo

Acorde con lo antes expuesto se procedió a realizar la descripción sistemática de la geología reconocida en cada una de las estaciones de trabajo, agrupándolas según la edad de los **Depósitos Cretácicas** en estudio.

Se debe tener en cuenta que los datos de rumbo y buzamiento de las estructuras medidas en campo se expresan como Dip–Azimuth / Dip (con la única excepción en el apartado 3.1.1.5 / Mapa 6) y el código de las muestras de afloramiento esta dado por “Mx”, donde “x” representa el número de muestra tomada.

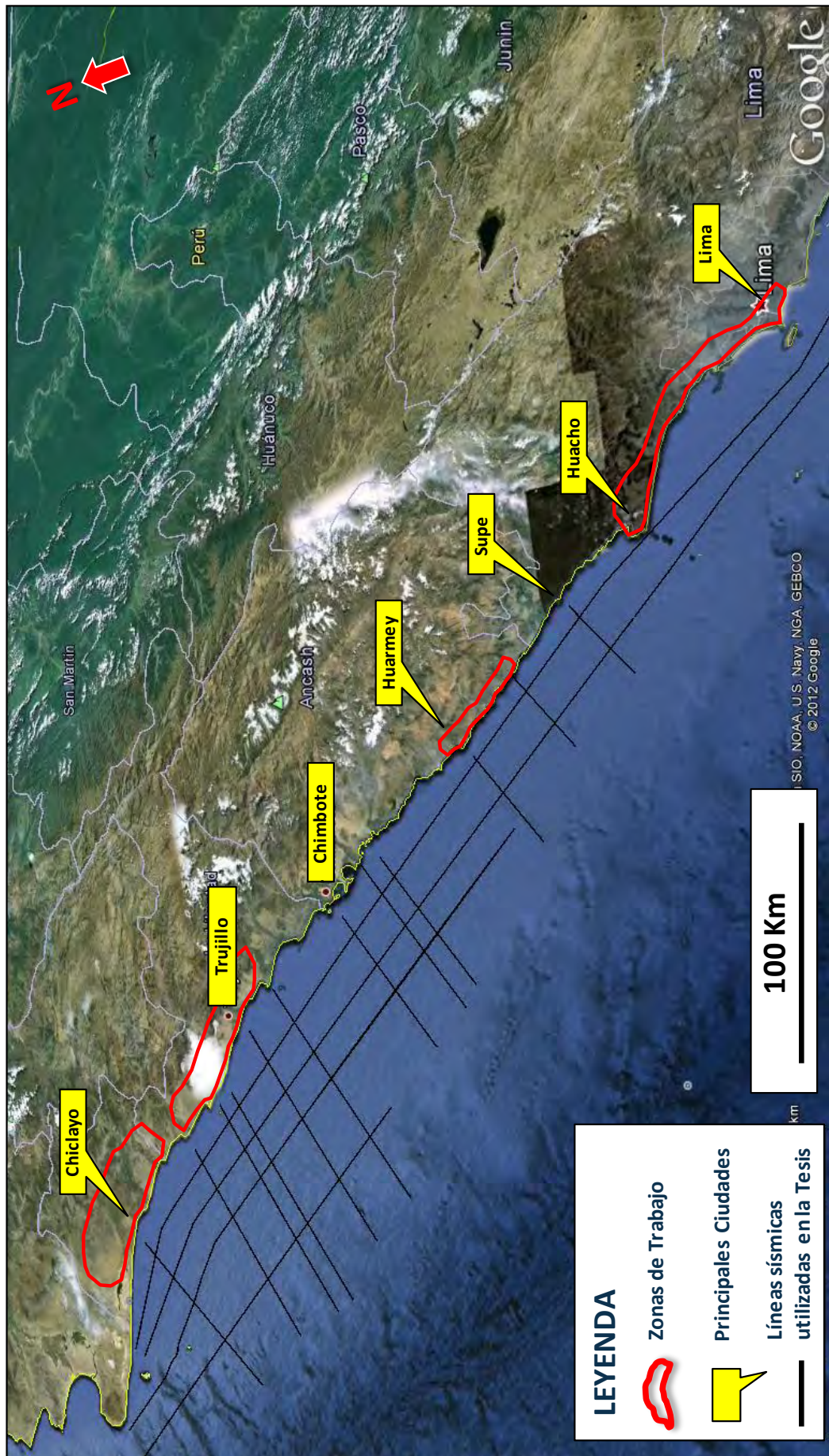


Figura 3.1. Imagen de satélite que muestra la ubicación de las zonas de estudio que comprenden el presente proyecto de

3.1.1 Depósitos del Cretácico Inferior (DCI)

Los principales afloramientos se localizan al Norte sobre la franja costera y estribaciones occidentales desde Chicama hasta el Norte de Chiclayo; mientras que al Sur se distribuyen sobre la franja costera del departamento de Lima.

3.1.1.1 C° Mauro - C° Mirador (Mapa 1)

Cerro Mauro se ubica 26 Km. al NNE de la ciudad de Chiclayo. Hacia la base se reconocieron lutitas grises y pardo rojizas moderadamente deformadas (M1), intercaladas con finos horizontes de arenisca beige de grano fino (Foto 1); sobreyaciendo en concordancia se tienen areniscas cuarzosas gris claras fuertemente fracturadas, las cuales se disponen en estratos decimétricos; mientras que hacia el tope sobreyacen cuarcitas gris claras fuertemente fracturadas y altamente compactas (Foto 2).

La secuencia sedimentaria antes descrita ha sido reconocida como Gpo. Goyllarisquizga y corresponde a barras progradantes, con medidas de paleocorrientes de N180° y N185°, desarrolladas en un ambiente litoral-tidal (Columna 1). Su contacto basal no ha sido reconocido en esta estación.

Cabe resaltar que dentro de las facies finas de la base se encontró una impronta de planta (Foto 3) muy similar a las reconocidas en la Isla San Lorenzo (Foto 4).

Posteriormente se visitaron los afloramientos del Cerro Mirador, ubicado a 21 Km. al NE de la ciudad de Chiclayo, donde se reconoció una secuencia compuesta de areniscas cuarzosas gris claras; lutitas y calizas (M2) en estratos centimétricos, las cuales en algunos casos se hallan silicificados y mineralizados (Foto 5). La secuencia descrita se ha reconocido como Gpo Goyllarisquizga y cabe resaltar que los horizontes de lutitas y calizas podrían corresponder a una unidad equivalente a la Fm. Santa.

En las inmediaciones del Cerro Mirador se evidenció el contacto basal del Gpo Goyllarisquizga con la Fm. Tinajones (Foto 6).

3.1.1.2 Chiclayo – Reque (Mapa 2)

El reconocimiento de campo comenzó en el sector del Cementerio al Oeste de la ciudad de Chiclayo, en la ruta hacia Pimentel, en afloramientos asignados al Gpo. Goyllarisquizga. Aquí se reconocieron facies de areniscas y lutitas (M3) plegadas por slumps, donde algunas medidas de las paleopendientes ($N260^{\circ}$ - $N290^{\circ}$) indican deslizamientos hacia el Oeste (Foto 7). En dicho afloramiento se pudo observar y medir 2 sistemas de fracturas, F1: $45^{\circ}/65^{\circ}$ y F2: $125^{\circ}/80^{\circ}$.

Así mismo en los alrededores del Cementerio sobre un corte en la vía de evitamiento se reconocieron areniscas cuarzosas gris claras en estratos decimétricos intercaladas con horizontes limolíticos que evidencian slumps (Foto 8).

Por otro lado se reconocieron afloramientos en Cerros San Miguel (próximos al Cristo Blanco), donde se observa una intercalación de limolitas amarillentas con areniscas cuarzosas de grano fino asignadas al Gpo. Goyllarisquizga; dichas facies manifiestan esquistocidad producto del plegamiento y fallamiento (Foto 9).

De la misma forma en el trayecto hacia Eten, sobre el poblado de Las Delicias, se reconocieron areniscas cuarzosas grises intercaladas con delgados horizontes de limolita, las cuales tienen una orientación de $50^{\circ}/28^{\circ}$ y corresponden al Grupo Goyllarisquizga. La arenisca cuarzosa es gris de grano medio, apretada, muy fracturada, y en estratos de 40 cm. a 2 m (Foto 10). La limolita es gris verdosa con fuerte esquistosidad (M4) y en estratos centimétricos a decimétricos. El afloramiento en conjunto se encuentra muy fracturado y afectado hacia el tope por un cuerpo subvolcánico (M5) que intruye a las areniscas cuarzosas del Gpo. Goyllarisquizga (Columna 2).

3.1.1.3 Cherrepe (Mapa 3)

El estudio del área de Cherrepe se diferenció en 2 zonas, que forman parte de un mismo contexto regional. La primera zona corresponde a los afloramientos de Punta Cherrepe propiamente dicha; mientras que la segunda, corresponde a los afloramientos expuestos en C°s Cherrepe.

En Punta Cherrepe se reconocieron hacia la base rocas piroclásticas con ligera epidotización que se encuentran cortadas por diques de posible composición andesítica (Foto 11), seguida por rocas volcánicas gris verdosas con moderada esquistocidad (M6) que se disponen a manera de pseudoestratos de aproximadamente 2m. de espesor. Suprayaciendo al material volcánico tenemos limolitas arenosas gris oscuras a negras, finamente laminadas en estratos centimétricos (M7), intercaladas con sills de posible composición diorítica y espesor variable; los cuales infrayacen a rocas volcánicas gris verdosas de posible composición andesítica intercaladas con delgados niveles de limolita gris oscura (Columna 3).

De la misma manera el estudio geológico en C°s Cherrepe consistió en el reconocimiento litológico, toma de muestras, y levantamiento de una columna estratigráfica que nos permita integrar todos los datos a un contexto regional. La descripción de la columna estratigráfica nos ha permitido reconocer y diferenciar 2 secuencias notoriamente marcadas de la base al tope (Columna 4):

SECUENCIA VOLCANO–SEDIMENTARIA (Jurásico?)

0 – 120 m.: Corresponde a rocas piroclásticas grises, plomas y verdosas con fuerte esquistocidad intercaladas con finos horizontes de lutitas pizarrosas (M8 / Foto 12).

120 – 200 m.: Corresponde a intercalaciones de areniscas volcano–sedimentarias con horizontes finos muy esquistosos y algunos niveles de piroclastos y sills.

SECUENCIA SEDIMENTARIA (Gpo Goyllarisquiza?)

200 – 340 m.: Corresponde a estratos decimétricos a métricos de arenisca cuarzosa gris de grano fino a medio, muy fracturada, en parte masiva y, presentan ripples y bases canalizadas (M9 / Foto 13), intercalados con finos estratos de limolita arenosa laminada y esquistosa, lutita gris plomiza con alta esquistocidad y algunos sills. Aparentemente toda la secuencia se encuentra afectada por fallas inversas y corrimientos (Foto 14).

340 – 800 m.: Predominantemente corresponde a estratos de arenisca cuarzosa gris finamente laminada, con presencia de canales y ripples (M10 y M11), intercalados con niveles de limolita areniscosa (M12) y lutita gris oscura (M13), que hacia el tope presentan bioturbaciones (M14 / Columna 4). El rumbo y buzamiento de los estratos es 190°/30°. Se observaron posibles plegamientos sin-sedimentarios (Foto 15).

800 – 1000 m.: Predominantemente corresponde a niveles de limolitas y lutitas de color verdoso, gris, beige y rojizo intercalados con estratos centimétricos de arenisca gris finamente laminada y algunos niveles de arenisca cuarzosa con cemento silíceo.

La continuidad de los afloramientos se expone al otro lado de la carretera (Foto 16) donde se observa que las rocas sedimentarias (M15) suprayacen a rocas gris verdosas que posiblemente correspondan a la base de la secuencia estudiada en Punta Cherrepe (Foto 11).

3.1.1.4 Pacasmayo (Mapa 4)

El trabajo en el área de Pacasmayo se diferenció en 3 zonas; hacia el Norte la cantera de Cementos Pacasmayo, hacia el Este los poblados de Mazanca y Chocofan y hacia el Sur lomadas reconocidas en las imágenes satelitales.

En la zona Norte, correspondiente a los afloramientos que se encuentran bajo propiedad de Cementos Pacasmayo, se reconocieron hacia la base limolitas gris verdosas con fuerte esquistocidad, muy alteradas, deformadas (M16) y con una potencia aproximada de 100 a 200 m. (Foto 17). Lateralmente se reconocieron esquistos? grises, pardos y rojizos (M17). A medida que subimos en la secuencia evidenciamos areniscas volcanoclásticas verdosas con fuerte esquistocidad; su tonalidad posiblemente es producto de la ocurrencia de minerales de metamorfismo (M18) y poseen un espesor aproximado de 40 a 60 m., dichas rocas han sido asignadas a la Fm. Salas del Ordovícico (Foto 17a).

Hacia el tope de la sección y en aparente discordancia (disconformidad) descansan areniscas cuarzosas grises de grano medio a grueso, masivas, deformadas y muy fracturadas, estando las fracturas rellenas tanto por vetillas de cuarzo segregado como por óxidos de hierro (M19 y M20); el rumbo y buzamiento de los estratos de areniscas es $235^{\circ}/65^{\circ}$, y han sido reconocidas como Gpo. Goyllarisquizga.

La secuencia completa se encuentra afectada de slumps que son los responsables de poner en contacto a las areniscas cuarzosas del tope con las limolitas esquistosas de la base (Foto 18). La esquistocidad presente en los horizontes finos posiblemente se deba a tectonismo como se evidencia a un lado de la Carretera Panamericana (Foto 19).

Así mismo en la zona Este, correspondiente a los alrededores de los poblados de Mazanca y Chocofan, de la base al tope se reconocieron rocas piroclásticas de color gris verdoso con esquistocidad moderada a fuerte (Foto 20 / M21 y M22); sobreyacidas por lavas de posible composición andesítica (M23 y M24) y posibles facies volcano-sedimentarias que poseen mayor esquistocidad y fracturamiento.

Hacia el tope y en aparente discordancia (disconformidad) descansan rocas asignadas al Gpo. Goyllarisquizga (Foto 21).

De esta manera se observó un primer afloramiento de areniscas cuarzosas (M25) grises de grano fino a medio muy fracturadas (estando sus fracturas rellenas tanto por cuarzo segregado como por óxidos) intercaladas con niveles de arenisca limosa de grano fino (M26) y finos horizontes de lutitas gris verdosas; las cuales se encuentran plegadas (Foto 22 / M27). La estratificación medida indica rumbo y buzamiento de $155^{\circ}/30^{\circ}$, así mismo se reconocieron 2 sistemas de fracturas F1: $230^{\circ}/70^{\circ}$ y F2: $165^{\circ}/88^{\circ}$.

Cabe resaltar que la secuencia volcánica antes descrita ha sido cartografiada por el INGEMMET como rocas Paleozoicas correspondientes a la Fm. Salas; aún cuando Benavides (1956) ya había reconocido dicha secuencia volcánica, la cual podría corresponder al Jurásico.

Por otro lado sobre la zona Sur (cerca al aeropuerto) se reconocieron pequeñas lomadas a manera de afloramientos (Foto 23), que corresponden a depósitos conglomerádicos de matriz arenosa y donde los cantos predominantemente son de areniscas cuarzosas (M28), posiblemente provenientes de los afloramientos circundantes reconocidos como Grupo Goyllarisquizga. Las lomadas se encuentran cubiertas totalmente por suelo residual y hasta los 60 cm. de profundidad se evidencia el material fluvial. Lo conspicuo de las mencionadas lomadas es que se encuentran aisladas dentro de una gran pampa lo cual podría estar relacionado con la influencia de geoformas en el subsuelo.

3.1.1.5 Pampas de Jaguey – Farrat (Mapa 5)

Con el objetivo de reconocer y estudiar la estratigrafía Cretácica en las estribaciones occidentales, se inició el recorrido por los afloramientos en Pampas de Jaguey; continuando a través del Valle del Río Chicama hasta llegar a la localidad de Farrat.

En el sector de Pampas de Jaguey, sobre el margen izquierdo del Río Chicama se reconoció una secuencia volcano-sedimentaria correspondiente a la Fm. Tinajones (M29); la cual infrayace en discordancia (paraconformidad) a una secuencia compuesta predominantemente de areniscas cuarzosas blancas intercaladas con horizontes de lutitas gris parduzcas (M30), correspondiente a la Fm. Chimú (Foto 24).

Así mismo la Fm. Tinajones sobreyace en discordancia (disconformidad) a la Fm. Chicama (Foto 25) e inicia con una secuencia (48 m.), de areniscas cuarzosas blancas conglomerádicas (Foto 26), seguidas de areniscas cuarzosas de grano medio a fino y luego areniscas pardas limosas; intercaladas con limolitas pardas, en estratos centimétricos a milimétricos; la asociación de facies de esta primera secuencia nos indica que corresponde a depósitos de medio fluvial a deltaico.

Por otro lado, próximo a los Baños Chimú se tiene una secuencia de lutitas gris oscuras a negras de la parte superior de la Fm. Chicama (Miembro Zapotal), que pasa en aparente concordancia a las areniscas cuarzosas blancas de la Fm. Chimú (Foto 27); estas a su vez pasan a una secuencia de lutitas y areniscas pardas correspondientes a las Fm. Santa-Carhuaz (Foto 28).

Posteriormente en la localidad de Farrat, se estudió los sistemas de fracturamiento presentes en un anticlinal (Mapa 6). Para esto se llegó hasta el núcleo de un anticlinal (Eje: N125°) que se encuentra afectando a las areniscas de la Fm. Chimú y a las lutitas de la Fm. Santa-Carhuaz (Foto 30). En primer lugar se revisó la zona de la charnela donde se pudo reconocer dos sistemas de fracturas, los cuales se encuentran rellenos por sílice (Foto 31); F1: N130°/70°NE y F2: N80°/85°S; siendo el rumbo y buzamiento de los estratos N5°/10°E.

Seguidamente se visitó el flanco occidental de dicho anticlinal, donde se observaron areniscas cuarzosas blancas con laminaciones oblicuas planas (Foto 32), indicando paleocorrientes hacia el SO (N220°). Sobre el mismo flanco se pudo observar dos sistemas de fracturas F3: N100°/40°N y F4: N145°/50°NE (Foto 33); y orientación de estratos N115°/45°S.

Con los datos estructurales medidos en campo se comprobó uno de los modelos de fracturamiento teórico propuestos para un anticlinal (para mayor información consultar Stearns, 1967: *Certain aspects of fracture in naturally deformed rocks*).

3.1.1.6 Morro Solar – Cerro UNI – Pasamayo (Mapa 7)

El estudio preliminar del área abarco 2 partes; la recopilación bibliográfica de trabajos realizados en el Morro Solar, Cerro UNI y la Isla San Lorenzo; los cuales asignan una edad de Cretácico Inferior para los mencionados afloramientos. Por otro lado el estudio de imágenes satelitales sobre el área de Pasamayo, evidenció afloramientos de rocas sedimentarias de las cuales no se tiene referencia alguna (en la bibliografía), pero poseen características litológicas y sedimentológicas correlacionables con el Gpo. Morro Solar (com. pers. con J. Jacay). Con dicha información el reconocimiento geológico se diferencio en 4 zonas: Morro Solar, Cerro UNI, Isla San Lorenzo y Pasamayo.

En el Morro Solar de la base al tope se reconocieron areniscas cuarzosas fuertemente fracturadas con laminaciones oblicuas planas, definidas como Fm. Salto del Frayle; que pasan transicionalmente a lutitas negras laminadas que se intercalan con esporádicos niveles de areniscas, definidas como Fm. La Herradura (Foto 34); finalmente y

en concordancia descansan areniscas cuarzosas grises intercaladas con delgados niveles de lutitas y eventuales calizas, definidas como Fm. Marcavilca. Así mismo es necesario mencionar que la secuencia entera se encuentra intruida por diques y sills (Fotos 34); y está afectada por fallas extensionales (Foto 35).

Posteriormente se visitó la Isla San Lorenzo, y sobre su extremo NO se reconoció el contacto concordante y transicional entre las lutitas negras laminadas de la Fm. La Herradura (M31) y las areniscas cuarzosas muy fracturadas de la Fm. Marcavilca (Foto 36). Luego, 1 Km. al NO del muelle se reconoció la parte más basal de la secuencia, la Fm. Salto del Frayle, conformada por areniscas cuarzosas grises con laminaciones oblicuas planas (M32), fuertemente fracturadas, evidenciando 2 sistemas principales de fracturas (S1: $90^{\circ}/85^{\circ}$ y S2: $355^{\circ}/88^{\circ}$) que favorecerían su porosidad secundaria como potencial reservorio naturalmente fracturado (Foto 37a).

Continuando con el recorrido se visitaron los afloramientos ubicados en el distrito del Rimac, teniendo acceso a ellos por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). De esta manera se estudió la sección sedimentaria que posee menor influencia de metamorfismo, producto del contacto con el intrusivo de composición diorítica–gabroide (Batolito Costero); observándose a la base lutitas negras con presencia de materia orgánica y de aspecto bituminoso (M33), asignadas como Fm. La Herradura (Foto 38); que infrayacen concordantes a areniscas cuarzosas grises (M34), muy compactas y fuertemente fracturadas, que evidencian 2 sistemas principales de fracturas (S1: $312^{\circ}/77^{\circ}$ y S2: $220^{\circ}/75^{\circ}$), poseen rumbo y buzamiento de $54^{\circ}/30^{\circ}$ y son asignadas como Fm. Marcavilca (Foto 38a). Es necesario mencionar que la base de la secuencia no se encuentra expuesta y fue posible reconocer fallas normales de mediana escala con pequeño salto, que afectan a las lutitas de la Fm. La Herradura.

Finalmente se estudió la sección expuesta en el serpentín de Pasamayo (Km. 75 de la Panamericana norte) al Norte de Lima y a 16 Km. al Sur de Chancay, teniendo acceso a través de la carretera Panamericana (a la altura del antiguo campamento del MTC).

Hacia la base se reconocieron lutitas grises pardo rojizas intercaladas con limolitas arenosas grises, que poseen laminación paralela y evidencian fallas normales sin-sedimentarias de mediana escala (Fotos 39). Suprayaciendo en concordancia se observan areniscas cuarzosas, grises de grano medio a fino, fracturadas, que se intercalan con niveles delgados de limolitas arenosas y lutitas; esta sucesión de estratos evidencia ritmicidad, ciclicidad e importante continuidad lateral. En tanto hacia el tope suprayacen concordantes secuencias grano y estratocrecientes compuestas por areniscas cuarzosas grises muy fracturadas, lutitas y limolitas gris verdosas (Foto 40). La unidad estratigráfica reconocida es asignada como **Gpo. Morro Solar**, posee un espesor total aproximado de 300 m. y su contacto basal no se encuentra expuesto.

Así mismo es necesario resaltar que si bien se reconocieron fallas extensionales métricas y en algunos casos sin-sedimentarias, una de las fallas de mayor escala es inversa. Dicha falla evidencia importante deformación manifestada en los pliegues de arrastre y la zona de falla, producto del levantamiento de la parte inferior de la unidad estratigráfica (Foto 40a).

3.1.2 Depósitos Albianos (DAL)

Los principales afloramientos estudiados se distribuyen desde el Norte de Pacasmayo hasta el sur de Lima.

3.1.2.1 Cerros de Talambo (Mapa 8)

El área de trabajo se encuentra al Norte del poblado de Puente Guadalupe, camino a Huabal por la carretera a Cajamarca. Los afloramientos corresponden a las calizas, lutitas y margas de la Fm. Pariatambo del Albiano medio (Benavides, 1956).

La geomorfología de los afloramientos en C°s de Talambo puso en evidencia estratos deformados, fracturados y meteorizados de tal manera que no poseen una estructura masiva propia de calizas potentes (Foto 41 y Foto 41a).

Hacia la base se pudo reconocer calizas gris oscuras a negras, fétidas, en estratos centimétricos, intercaladas con lutitas gris oscuras y limolitas arenosas, con rumbo y buzamiento de $270^{\circ}/50^{\circ}$ (Foto 42). Se observaron fallas normales sin-sedimentarias (Foto 43) con rumbo y buzamiento de $75^{\circ}/55^{\circ}$ y $65^{\circ}/60^{\circ}$, las cuales indican una extensión $N75^{\circ}$ (E – O).

Suprayaciendo a las calizas tenemos a una secuencia de limolitas arenosas gris oscuras a negras, con diseminación de pirita (M35), intercaladas con delgados estratos de lutitas (5 cm.) y calizas (10 cm.) (M36). Rumbo y buzamiento de estratos $275^{\circ}/42^{\circ}$.

Mientras que hacia el tope se reconocieron calizas gris oscuras a negras en estratos decimétricos intercalados con horizontes centimétricos (Fotos 44, 44a y 44b / M37 y M38), seguidos por intercalaciones de calizas gris oscuras a negras (M39) con lutitas negras (M40) cuyo rumbo y buzamiento de estratos es $255^{\circ}/58^{\circ}$.

Toda la secuencia está fracturada y deformada a manera de pliegues, posiblemente debido a deslizamientos sin-sedimentarios (Foto 45).

Cerca de 3 Km. al Oeste de C°s de Talambo, se reconoció un afloramiento aislado que se encuentra cartografiado como Gpo. Goyllarisquizga, pero corresponde a calizas arenosas de color beige con inclusiones de sulfuros y óxidos de fierro dendrítico (M41) que corresponderían a la Fm. Pariatambo (Foto 46).

3.1.2.2 Puemape (Mapa 9)

El estudio de imágenes satelitales evidenció un afloramiento con morfología cónica cartografiado como Gpo. Goyllarisquizga, próximo a la playa de Puemape. En dicha zona se pudo observar que el afloramiento en mención corresponde a calizas gris oscuras a negras en estratos de 5 a 20 cm (Foto 47 / M42 y M43), intercaladas con lutitas gris oscuras (Foto 48 / M44). Algunas de estas secuencias se hallan afectadas por slumps (Foto 49). La estratificación medida indica rumbo y buzamiento de $150^{\circ}/55^{\circ}$.

Continuando con el recorrido se visitó la Playa Puemape (Foto 50), donde aflora la misma secuencia de calizas gris oscuras a negras (Foto 51 / M45), con estratificación variable de $0^{\circ}/10^{\circ}$ y $260^{\circ}/20^{\circ}$ debido al plegamiento; que posiblemente esté relacionado con la intrusión de sills (Foto 52). También se midieron dos sistemas de fracturas F1: $300^{\circ}/60^{\circ}$ y F2: $340^{\circ}/70^{\circ}$.

De la misma manera el estudio geológico en Cerro Puemape consistió en el reconocimiento litológico, descripción de facies y levantamiento de una columna estratigráfica; lo cual permitió diferenciar 3 secuencias bien marcadas (Columna 5) que descansan sobre un intrusivo gris oscuro de grano fino y de posible composición diorítica (Foto 53):

Secuencia A1 (0 – ~200 m.): Hacia la base tenemos calizas gris oscuras a negras laminadas y también masivas, presentando ondulaciones en los horizontes laminados, cuyo rumbo y buzamiento es $200^{\circ}/35^{\circ}$ (Foto 54 / M46); seguidas de lutitas negras finamente laminadas en estratos centimétricos y decimétricos, intercalados con algunos niveles de limolita arenosa, de orientación $80^{\circ}/55^{\circ}$ SE (Foto 54a / M47). Finalmente sobreyacen en

concordancia calizas negras en estratos ondulados de 3 a 5 cm. (M48), que alcanzan un espesor aproximado de 50 m.

Secuencia A2 (~200 - 330 m.): Los primeros 80 m. corresponden a calizas gris claras laminadas, silicificadas y en estratos centimétricos que presentan pliegues producto de slumps (con sentido N20°) (Foto 55); seguidas por estratos de caliza deslizados y cortados por sills y diques de espesores métricos. Hacia el tope tenemos caliza gris clara silicificada con rumbo y buzamiento de 195°/58°, seguida por lutitas gris oscuras, en parte calcáreas, intercaladas con estratos de caliza gris y esporádicos niveles de limolita arenosa (**Columna 5**).

Secuencia A3 (330 – 420 m.): Hacia la base y en contacto con lutitas marrones alteradas (Foto 56) tenemos una intercalación de sills alterados de color verdoso y calizas gris claras masivas y silicificadas (M49), seguidos por sills porfíricos de posible composición diorítica – gabroide, de mayor espesor que los infrayacentes, que se intercalan con niveles de calizas y lutitas hacia el tope (Foto 57).

3.1.2.3 Huacho – Chancay (Mapa 10)

El estudio preliminar de imágenes satelitales del área evidenció posibles afloramientos de rocas sedimentarias en los alrededores de Huacho, los cuales se encuentran cartografiados predominantemente como Gpo. Casma y en menor proporción como Depósitos Cuaternarios. Con dicha información el reconocimiento geológico se diferenció en 4 zonas: Km. 10 de la carretera a Sayán, entrada de la ciudad de Huacho, 10 Km. al Sur de Huacho, y hacia el Sur los afloramientos en Punta Chancay.

En la zona Norte, sobre el Km. 10 de la carretera a Sayán y hacia el margen derecho del Río Huaura se reconocieron piroclastos? gris oscuros, compactos y con fuerte oxidación (M50) intercalados con niveles chert? gris verdosos, compactos y medianamente oxidados (M51). Dicha facies posee rumbo y buzamiento de 315°/10° y se encuentra infrayacida y sobreyacida por material volcánico de composición andesítica.

Acorde con esto sobre el margen izquierdo del Río Huaura se reconocieron facies volcano-sedimentaria; conformada por intercalaciones de calizas, areniscas, limolitas (M52), finos horizontes de lutita, y niveles de material volcánico (Fotos 58); que infrayacen a rocas volcánicas de composición andesítica. La facies antes descrita se encuentra afectada por fallas y sills (Foto 59).

Posteriormente se visitaron los afloramientos ubicados a la entrada de la ciudad de Huacho, pudiendo observar a ambos lados de la carretera facies sedimentaria (M53) que infrayace a rocas volcánicas de composición andesítica (Fotos 60 y 61 / M54). Dicha facies sedimentaria está compuesta por areniscas intercaladas con niveles de limolitas y calizas; que se encuentran afectadas por fallamiento en bloques (Foto 62), sobre la vía Sur de la carretera, y también es suprayacida por bancos de arenisca de posible edad Cenozoica (M55). Orientación de estratos de $330^{\circ}/17^{\circ}$.

Es necesario mencionar en el recorrido SO, sobre el C° Los Negritos las facies sedimentarias varían en corta distancia su dirección de buzamiento, lo cual evidenciaría plegamiento.

Continuando el recorrido con dirección SO hacia la Playa Hornillos, se evidenció facies volcano-sedimentaria, donde hacia la base tenemos chert? gris negruzco (M56), seguido de bancos de arenisca gris parduzca de grano fino y muy compacta (M57), y hacia el tope niveles de piroclastos?. Dicha secuencia se extiende al offshore con dirección de buzamiento NO y descansa sobre rocas volcánicas del Gpo. Casma (Fotos 63 y 64).

De la misma manera al Sur de Huacho se tienen afloramientos compuestos por limolitas (M58), lutitas fuertemente oxidadas y algunos niveles de calizas (M59), con rumbo y buzamiento de estratos de $330^{\circ}/20^{\circ}$. Toda la unidad sedimentaria se encuentra moderadamente fracturada, afectada por fallas y posee una potencia aproximada de 50 a 100 m (Foto 65).

Finalmente se estudió la sección sedimentaria que aflora en Punta Chancay (Foto 66), donde hacia la base se evidencia una alternancia rítmica de lutitas negras en parte calcáreas (M60) y calizas margosas dispuestas en estratos centimétricos (Foto 67); mientras que hacia el tope se observaron areniscas y calizas intercaladas con niveles

lutáceos. La secuencia en mención es grano-estratocreciente y es asignada a las Fms. Pamplona – Atocongo, sin descartar que pudiera corresponder a un equivalente de la Fm. La Zorra.

El análisis estratigráfico regional, en base al reconocimiento de campo, se plasma en la Columna estratigráfica Sector Huacho - Chancay (Columna 6).

3.1.2.4 Cerro Casuarinas (Mapa 11)

La zona en mención se encuentra al Sur de la Provincia de Lima, en el distrito de Santiago de Surco, sobre el Km. 8.5 de la Panamericana Sur; donde los afloramientos corresponden a las calizas, lutitas y margas de la Fm. Pamplona.

El trabajo de campo consistió en el reconocimiento litológico y descripción de facies, lo cual permitió reconocer los 3 miembros de la Fm. Pamplona:

Miembro Conchan: Sobreyace discordante a rocas intrusivas del Batolito de la Costa. Está conformado por una alternancia rítmica de margas y lutitas. Las lutitas son abigarradas y se disponen en estratos decimétricos (Foto 68); mientras que las margas se presentan en bancos de hasta 1.5 m. de espesor.

Miembro Cascajal: Sobreyace concordante al Mb. Conchan. Está conformada por calizas gris oscuras a negras y margas grises en estratos decimétricos, intercaladas con horizontes de lutitas (Foto 69). La secuencia se encuentra sumamente fallada (Foto 70 y Foto 71), y afectada de la intrusión de diques y sills (Foto 72).

Miembro Casuarinas: Sobreyace concordante al Mb. Cascajal. Está conformada por calizas gris oscuras en bancos de hasta 1 m. de potencia, intercaladas con finos horizontes de lutitas abigarradas (Foto 73). Dicha secuencia se encuentra altamente fracturada, deformada y algo plegada.

3.1.2.5 Huarmey – Punta Gramadal (Mapa 12)

El estudio preliminar de imágenes satelitales del área evidenció afloramientos de rocas sedimentarias y volcánicas, que manifiestan contactos litológicos muy conspicuos (marcados cambios en la morfología, coloración y pendiente) en los alrededores de Huarmey; los cuales se encuentran cartografiados como Gpo. Casma (INGEMMET, 1980 – Boletín 33 – Serie A). Con dicha información el reconocimiento geológico se diferenció en 3 zonas: Zona Norte: 10 Km. al Sur de Huarmey; Zona Centro: 7 Km. al Norte del poblado Las Zorras; y la Zona Sur: alrededores de Punta Gramadal.

En la Zona Norte, 10 Km. al Sur de Huarmey (Columna 7), de la base al tope se reconocieron; rocas volcánicas de posible composición andesítica con fenos de feldespatos (M61), que evidencian 2 sistemas principales de fracturas (F1: $130^{\circ}/68^{\circ}$) y poseen un espesor aproximado de 200 m.; suprayaciendo concordantemente descansan pillow lavas andesíticas con fenos de feldespatos, alteradas (oxidadas) y en parte cubiertas por suelo residual (Foto 74), poseen aproximadamente 100 m. de espesor y pasan a flujos lávicos.

Subiendo en la secuencia se reconoció el contacto entre las rocas volcánicas y facies sedimentaria compuesta por intercalaciones de limolitas, areniscas, calizas y lutitas (Fotos 75). Dentro de la facies sedimentaria se reconocieron lutitas gris oscuras, muy fracturadas, oxidadas, con laminaciones planas y orientación de estratos $50^{\circ}/62^{\circ}$ (M62 y M63); intercaladas con horizontes de areniscas gris parduscas de grano medio, con rizaduras de corriente (*ripples*) y en estratos centimétricos con rumbo y buzamiento de $65^{\circ}/52^{\circ}$ (Fotos 76 / M64); subiendo en la secuencia se evidencia la ritmicidad y ciclicidad del predominio de facies lutáceas con intercalaciones de areniscas y esporádicos niveles de calizas (M65) y rocas volcánicas (Columna 7).

Así mismo la facies sedimentaria descrita se encuentra afectada por un sistema sinclinal–anticlinal muy apretado con eje NO, que permite conservar a mediana escala la dirección del buzamiento hacia el NE; dicha estructura posee implicancia en el aumento del buzamiento (rumbo y buzamiento de estratos: $60^{\circ}/81^{\circ}$), el cual desciende progresivamente a medida que ascendemos en la columna (Foto77 y Foto 77a).

En tanto que hacia el tope se evidenció el contacto entre la facies sedimentaria y rocas volcánicas que la sobreyacen. Infrayaciendo inmediatamente al contacto se reconocieron lutitas gris oscuras silicificadas, posiblemente debido a la acción hidrotermal producto de la efusión volcánica.

Posteriormente se visitaron los afloramientos ubicados en la Zona Centro: 7 Km. al Norte del poblado de Las Zorras (Lamina 12). Hacia la base de la secuencia se reconocieron rocas volcánicas gris verdosas oscuras, de posible composición andesítica (M66), dispuestas a manera de pseudoestratos; continuando con recorrido NE fue posible reconocer el contacto estratigráfico entre la unidad volcánica basal y la unidad sedimentaria que la suprayace (Foto 78).

Ascendiendo en la sección sedimentaria se reconocieron estratos de arenisca gris parduzca, de grano medio (M67) con alteración superficial y fuerte fracturamiento (F1: $240^{\circ}/45^{\circ}$); intercalados con niveles de limolita gris oscura, con rumbo y buzamiento $40^{\circ}/56^{\circ}$; cabe resaltar que el buzamiento disminuye progresivamente hacia el flanco del afloramiento (Foto 79) y la asociación de estratos es rítmica.

Continuando con el recorrido y ascendiendo en la sección se observaron estratos de caliza (M68) intercalados con niveles de limolita, que en conjunto se encuentran afectadas por plegamientos a manera de slumps; así mismo a la base del afloramiento se evidenciaron niveles de material volcánico que también se encuentran plegados (Foto 80). Producto del plegamiento la orientación de los estratos varía continuamente y ha sido posible reconocer repetición de estratos a lo largo del recorrido.

Hacia el tope de la unidad sedimentaria se reconocieron estratos de limolita gris parduzca, muy fisible, fracturada y con laminaciones paralelas, intercalados con niveles de caliza gris parduzca y horizontes de material volcánico y chert; cuya orientación de estratos es $225^{\circ}/42^{\circ}$. Así mismo una vista panorámica evidenció estratos plegados a ambos flancos del afloramiento, la geoforma generada podría corresponder a slumps (Foto 81).

Finalmente se estudió la Zona Sur, que corresponde a los alrededores de Punta Gramadal. Sobre la Carretera Panamericana se reconocieron afloramientos de roca volcánica de posible composición andesítica y con fenos de plagioclasas; los cuales se encuentran intruidos por cuerpos subvolcánicos de coloración gris parduzca con fenos de máficos (Foto 82).

Continuando con un recorrido hacia el Oeste, se evidenciaron afloramientos de roca volcánica con fenos de máficos (Foto 83), que parcialmente se encuentran cubiertos por depósitos eólicos recientes. Dichas rocas volcánicas se encuentran estructuralmente por debajo del primer afloramiento descrito y poseen moderado fracturamiento y leve alteración superficial. Dichas rocas volcánicas (M69) se extienden hacia el Oeste, cerca a la Playa Punta Gramadal, y poseen morfología de pillow lavas (Foto 84), lo cual las diferencia de los afloramientos antes descritos.

Sobre los afloramientos de Playa Punta Gramadal (Vista panorámica SO) se observaron facies sedimentaria que descansan sobre rocas volcánicas, similares a las reconocidas en las 2 zonas anteriores (durante el recorrido O-E), que conformarían la base de la secuencia que se introduce en continente con dirección de buzamiento Este. Así mismo cuerpos a manera de sills y diques afectan la facies sedimentarias (Foto 85).

Por otro lado la vista panorámica NE muestra que la facies sedimentaria observada se encuentra limitada lateralmente por diques tanto hacia el flanco Norte como al Sur de la playa. De la base al tope la facies sedimentaria está conformada por areniscas volcanoclásticas, calizas gris negruzcas fosilíferas, areniscas cuarzosas masivas, limolitas y esporádicos niveles de brechas y cherts, los cuales manifiestan una asociación de estratos cíclica hacia el tope (Foto 86).

La facies sedimentaria en su conjunto está afectada por un fuerte fracturamiento, con sistema de fracturas principal subvertical; yeso y halita relleno de las fracturas. Orientación de estratos $80^{\circ}/25^{\circ}$. Es necesario resaltar que los estratos de caliza (M70) reconocidos son negruzcos y fosilíferos, reconociéndose ammonites y contenido de materia orgánica quemada, posiblemente debido al contacto con los fluidos hidrotermales producto

de la intrusión de los cuerpos subvolcánicos. Dichas calizas han sido muestreadas para conocer su potencial como roca generadora.

Por la geometría del depósito de las facies sedimentaria; es posible que su configuración estructural corresponda a un pequeño graben, que se formó dentro de la secuencia volcánica. Cabe resaltar que en el interior del graben, el relleno sedimentario se trunca bruscamente contra el material volcánico producto del fallamiento (Foto 87 y Foto 88).



Foto 87. Falla normal inferida sobre el extremo Sur de Playa Punta Gramadal, que pondría en contacto el volcánico basal con la facies sedimentaria.

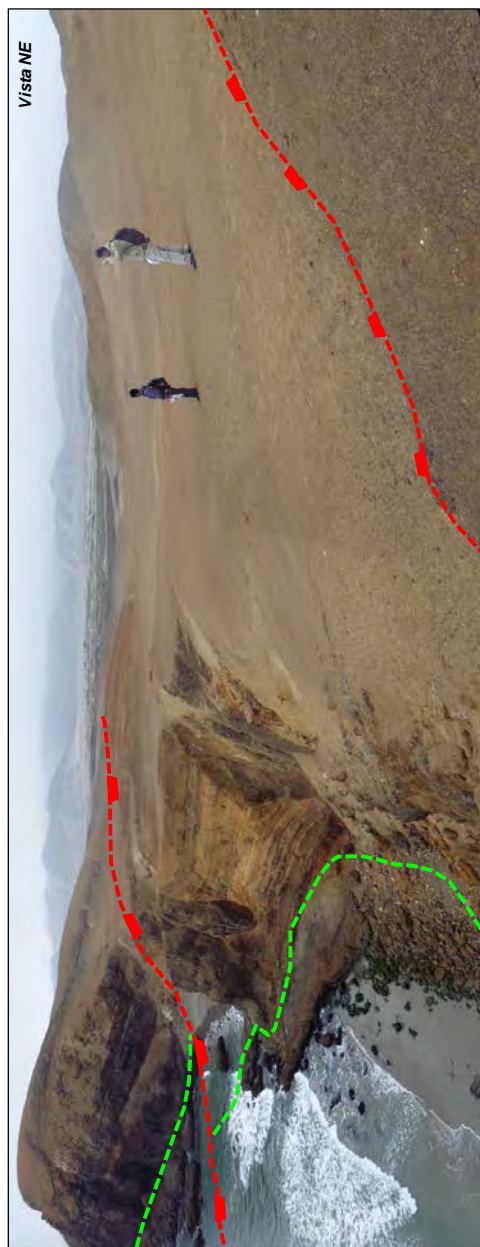


Foto 88. Falla normal inferida sobre el extremo Norte de Playa Punta Gramadal, que completaría la configuración de graben para los depósitos sedimentarios reconocidos.

3.1.3 Depósitos del Cretácico Superior (DCS)

Los principales afloramientos se encuentran al Norte del área de estudio, entre Cajamarca y Huambos, y poseen restringida presencia sobre la franja costera a manera de afloramientos discontinuos.

Acorde con lo antes mencionado es necesario resaltar que la Fm. Cajamarca (Turoniano medio – superior), Fm. Celendín (Coniaciano – Santoniano), Fm. Chota (Maastrichtiano); así como los depósitos volcano–sedimentarios de edad Cretáceo Superior–Paleoceno, reconocidos al Norte de Chancay en la Mina María Teresa (Polliand, 2005; Romero, 2007), no han sido considerados dentro del presente estudio; debido a que su distribución se enmarca en el dominio de la Cordillera Occidental y/o porque corresponden a afloramientos locales.

3.1.3.1 Saltur – San Nicolás (Mapa 13)

Para el reconocimiento de los afloramientos correspondientes a los Gpos. Pulluicana y Quilquiñan, de edad Albiano terminal – Turoniano inferior (Benavides, 1956); se tomaron en cuenta 2 estaciones de trabajo:

La primera estación se ubicó en los alrededores de la localidad de Saltur, donde se reconocieron calizas gris oscuras laminadas (M71) dispuestas en estratos tabulares, cuyo espesor varía de 10 a 30 cm. (Foto 89). Toda la sección se encuentra afectada de 2 sistemas principales de fracturas y también se encuentra plegada debido a posibles deslizamientos (Foto 90).

Así mismo en el Cerro San Nicolás se tienen calizas grises, pardas y gris oscuras, masivas (M72), con estructuras tipo slump (Foto 91) y, de adelgazamiento, tipo boudinage (Foto 92). La secuencia carbonatada es intruida por diques de posible composición andesita–basalto, con rumbos N35° y N70° (Foto 91 y Foto 91a) y hacia el tope las calizas se encuentran silicificadas (Foto 93). El rumbo y buzamiento medido en los estratos es 245°/65°.

Es necesario mencionar que las secuencias de menor orden también se encuentran afectadas de deslizamiento sin–sedimentario, tipo slumps.

3.2 GEOLOGÍA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL (OFFSHORE)

Para un mejor entendimiento del estudio geológico realizado sobre la plataforma continental en el área de estudio, Cuenca Salaverry (Lima - Chiclayo) (Figura 3.2), se procede a realizar la descripción de algunas características conspicuas que posee la Cuenca en mención:

- Geomorfologicamente el relieve de la plataforma posee una topografía casi horizontal, con cambios en el relieve submarino que son observados localmente y con presencia de algunas cadenas de islas (Masías, 1976).
- La Cuenca Salaverry se encuentra limitada hacia el Oeste por el Outer Shelf High (OSH) mientras que hacia el Este su límite lo marca la actual línea de costa (Figura 3.2).
- Las rocas metamórficas reconocidas en las islas Lobos de Tierra, Lobos de Afuera (Savia, 2006) y Las Hormigas (Kulm et. al., 1981); correlacionadas con las rocas metamórficas perforadas en los pozos Ballena 1-X, Delfín 1-X y Morsa 1-X; evidencian corteza siálica, compuesta por filitas y esquistos de posible edad Precámbrica–Paleozoica, como basamento Pre–Mesozoico de la Cuenca Salaverry (Figura 3.3).
- La Cuenca Salaverry está conformada en el *present day* por rocas que se desarrollaron en 2 cuencas diferentes (Figura 3.4 y 3.5):

Cuenca Mesozoica: corresponde a la Cuenca desarrollada entre la Cordillera de la Costa y el borde occidental de la Cuenca Occidental Peruana, a la cual Romero (2010) define como “Cuenca del Margen Continental Peruano”.

Cuenca Cenozoica Salaverry: se desarrolla sobre basamento Pre-Cenozoico, casi enteramente en offshore y con algunos remanentes de rocas Cenozoicas expuestas sobre la franja costera (Savia, 2011).

- La Cuenca del Margen Continental Peruano desarrollada desde el Jurásico medio hasta el Cretácico superior, acumuló grandes secuencias marinas pelíticas, secuencias silicoclásticas progradantes con influencia de depósitos marinos

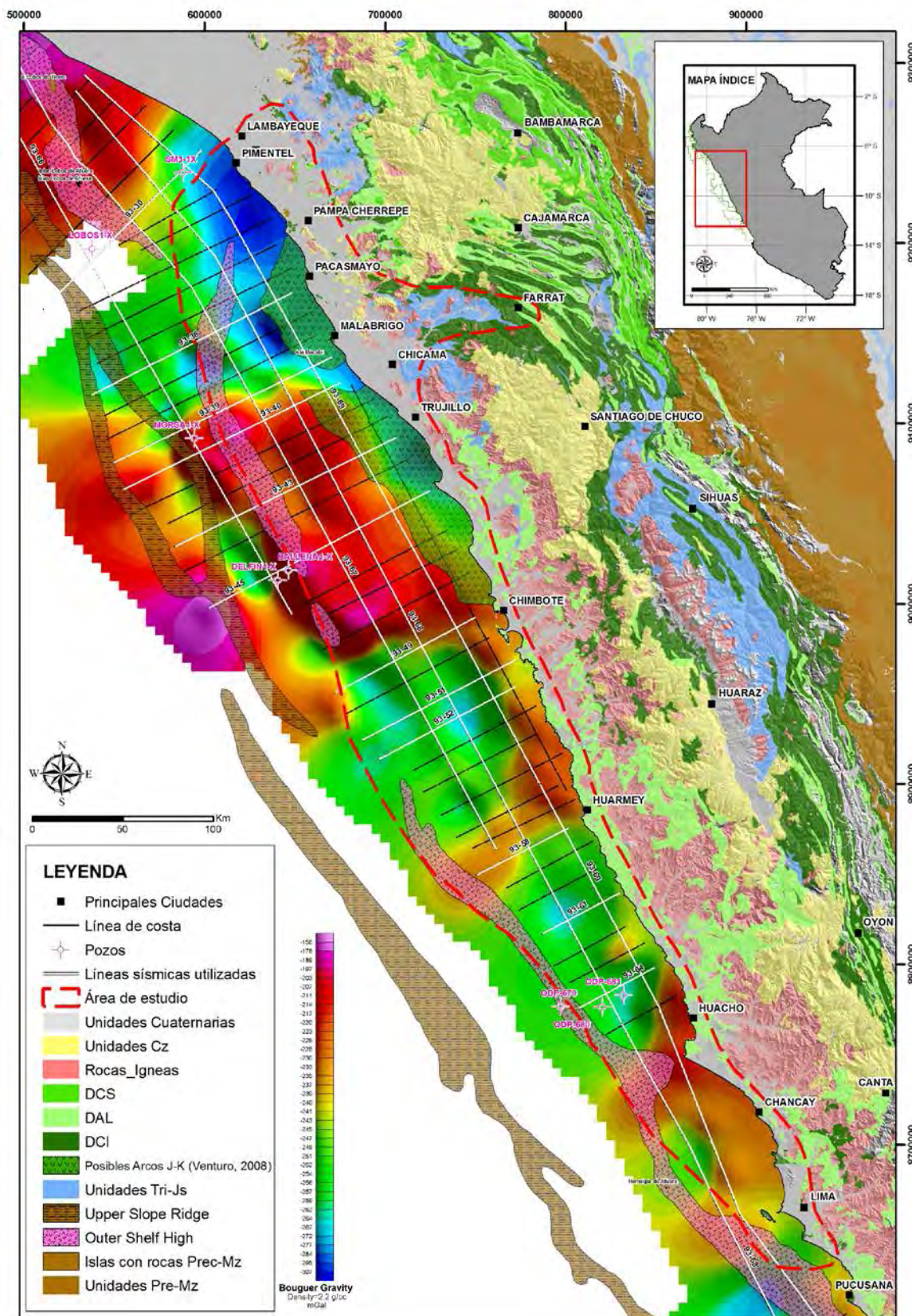


Figura 3.2. Mapa compilado de la Plataforma Continental. Muestra la información utilizada en la interpretación offshore: pozos, islas, líneas sísmicas, gravimetría regional, afloramientos adyacentes a la cuenca, y trabajos previos.

someros, y depósitos de plataforma en posición de tras-arco y muy probablemente en el antearco (Figura 3.5). Dicha Cuenca tuvo como límites la prolongación de la Cordillera de la Costa (OSH) y el Alto Paccho–Canta–Yauyos (Romero et. al., 2010; Timoteo, 2010 / Figura 3.5).

- Las Secuencias Mesozoicas de la Cuenca Salaverry en algunos casos presentan vulcanismo contemporáneo con la sedimentación y/o se encuentran intruídos por rocas del Batolito Costero. Su naturaleza en offshore solo se puede inferir a partir de las secciones geológicas expuestas en la franja costera adyacente a la Cuenca.
- Aún no se tiene registro de unidades Triásicas ni Jurásicas, sin embargo el pozo Lobos 1-X atravesó lutitas, areniscas y conglomerados asignados según los análisis palino-paleontológicos al Campaniano–Maestrichtiano (Repsol, 1999b); dicha secuencia posee características correlacionables con la Fm. Redondo del Noroeste del Perú.
- Bolaños (1986) indica que las Secuencias Mesozoicas se han reconocido en líneas sísmicas como remanentes preservados en depocentros generados por fallamiento, debajo de la discordancia Pre–Cenozoica.
- Venturo (2008) brinda evidencias sismo–geológicas de geoformas volcánicas? que influyen la zona norte del flanco oriental de la Cuenca Salaverry (Figura 3.2).
- Datos gravimétricos sobre el borde oriental de la actual Cuenca Salaverry manifiestan anomalías de Bouguer muy similares a las manifestadas por los intrusivos pertenecientes al segmento más occidental del Batolito Costero (Figura 3.2).

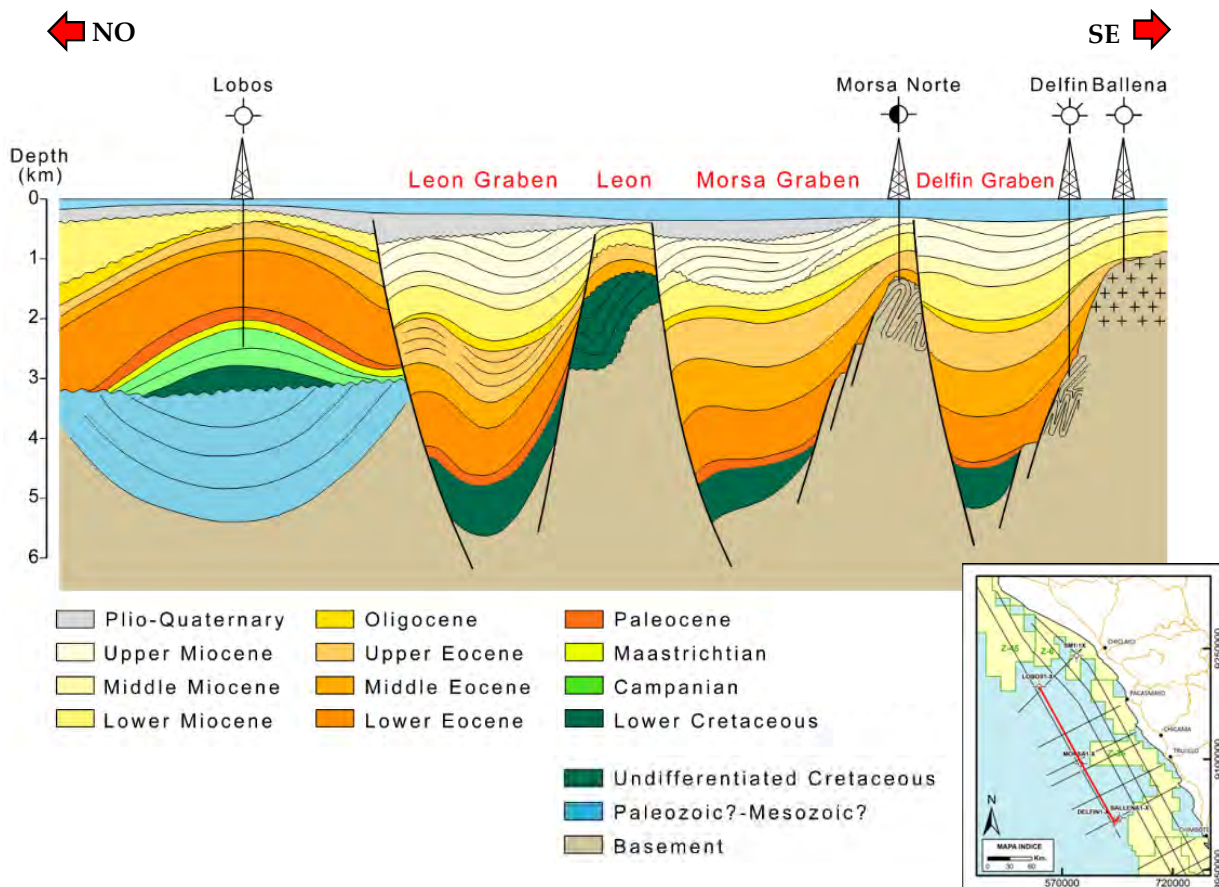


Figura 3.3. Sección geológica esquemática mostrando la configuración de la Cuenca Trujillo-Salaverry (Tomado de Repsol, 2000).

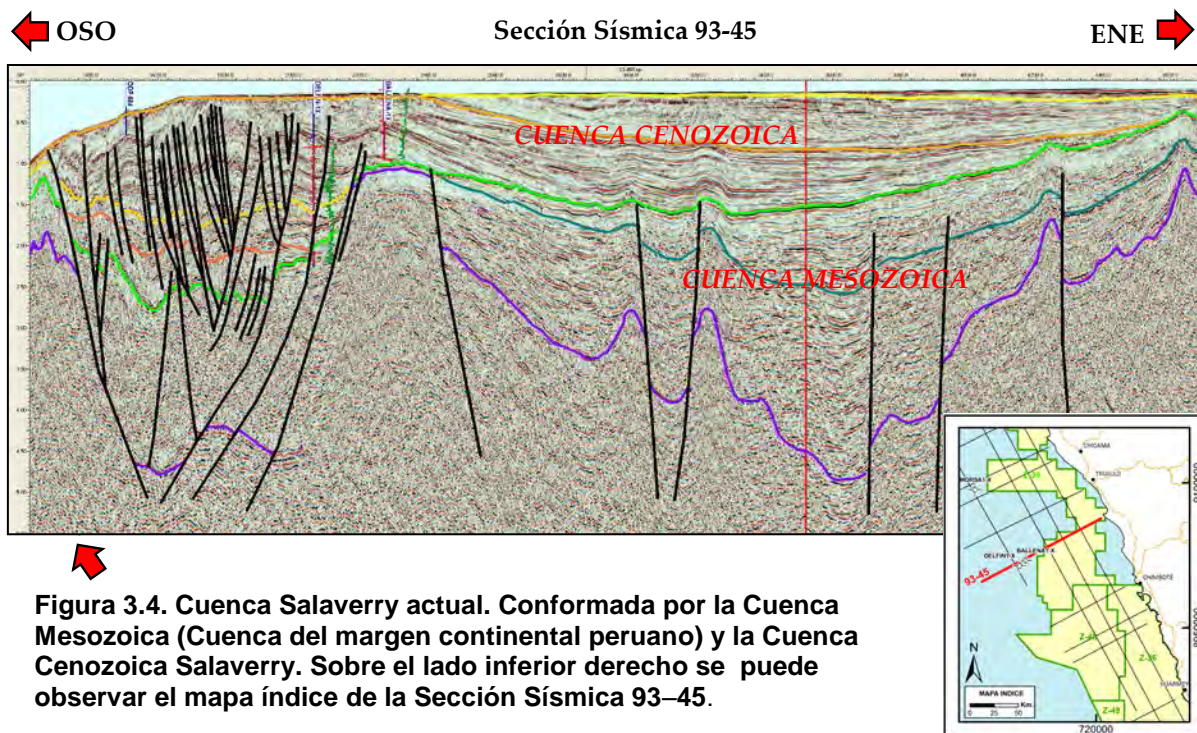


Figura 3.4. Cuenca Salaverry actual. Conformada por la Cuenca Mesozoica (Cuenca del margen continental peruano) y la Cuenca Cenozoica Salaverry. Sobre el lado inferior derecho se puede observar el mapa índice de la Sección Sísmica 93-45.

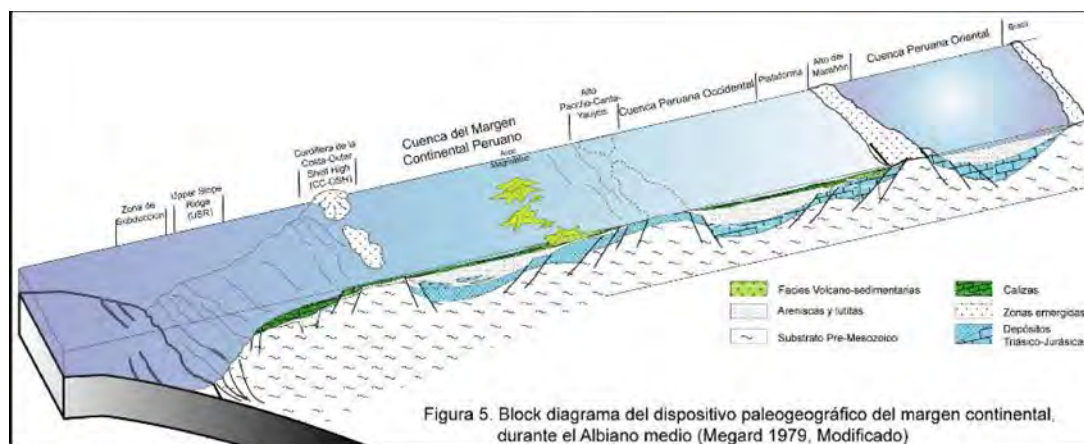


Figura 3.5. Block diagrama del dispositivo paleogeográfico del margen continental peruano durante el Cretácico (Modificado de Megard (1979) en Romero et. al., 2010).

3.3 INTERPRETACIÓN SÍSMICA REGIONAL

Para el presente estudio se ha tomado como base la interpretación sísmica que SAVIA Perú ha realizado en el offshore del Perú Central – Cuenca Salaverry. Así mismo se han reconocido, estudiado e interpretado 16 líneas sísmicas 2D, adquiridas por Seiscom Delta (1993).

La interpretación de las líneas sísmicas 2D se ha basado en la integración de datos geológicos de la costa y diferentes islas, datos de pozos (Delfín 1-X, Ballena 1-X, Lobos 1-X y Morsa 1-X), información proveniente del *Ocean Drilling Program* (pozos ODP-679, ODP-680, ODP-681), y datos gravimétricos y magnetométricos, lo cual ha permitido interpretar horizontes sísmicos, los cuales podrían corresponder a las diferentes unidades estratigráficas reconocidas y estudiadas sobre la Costa del Perú Centro – Norte (onshore).

Íntegramente se ha trabajado con 3 horizontes sísmicos que han permitido bosquejar el estilo estructural de la plataforma continental.

De los 3 horizontes sísmicos tomados en cuenta para la presente interpretación, solo 2 horizontes han sido definidos e interpretados por SAVIA, los que corresponden al **Tope del Paleozoico** y a la **Base del Cenozoico**; y se ha realizado la interpretación de un nuevo horizonte sísmico denominado **Base del Albiano** (Timoteo, 2010).

El **Tope del Paleozoico** (en adelante **TPz**) es el horizonte inferior, corresponde al “basamento Pre-Mesozoico” y representa a rocas del Precámbrico y Paleozoico (Delfín 1-X, Ballena 1-X, y Morsa 1-X; y a los afloramientos de las Islas Lobos de Tierra, Lobos de Afuera y Las Hormigas). Así mismo define el “Outer Shelf High” (OSH), que sería la prolongación de la Cordillera de la Costa en el offshore; y posee una configuración de altos y bajos estructurales que condicionan el espesor remanente de las Secuencias Mesozoicas.

La **Base del Cenozoico** (en adelante **BCz**) es el horizonte superior, corresponde al “basamento de la Secuencia Cenozoica” y representa, en el área definida entre el Outer Shelf High y la línea de costa, el tope de los **Depósitos del Cretácico Superior** y, de manera más localizada, el tope de los depósitos de edad Campaneano–Maastrichtiano (Lobos 1-X). No se descarta que para la zona sur del área de estudio el mencionado horizonte corresponda al tope de depósitos indiferenciados del Cretácico Superior. Posee continuidad hacia el Este, mientras que hacia el Oeste evidencia onlap sobre el Outer Shelf High y en algunos casos sobrepasa dicho alto estructural.

De la misma manera una gran cantidad de líneas sísmicas manifiestan un reflector intermedio, ubicado entre el **Tope del Paleozoico** y la **Base del Cenozoico**; el cual posee amplitudes fuertes, evidencia continuidad a lo ancho y largo de la Cuenca; y posiblemente correspondería a la base de los remanentes de los **Depósitos Albianos** (Timoteo, 2010). Se propuso interpretar este horizonte debido a que corresponde al inicio de una transgresión de orden global (Haq, 1987; Vail et. al., 1991) que permitió el desarrollo de extensos depósitos marinos y de plataforma sobre el tras–arco y posiblemente en el ante–arco, de similares características a las Fms. Muerto–Pananga del Noroeste del Perú. Dicho horizonte definido como la **Base del Albiano** (en adelante **BAIb**) corresponde al tope de los **Depósitos del Cretácico Inferior** y está limitado hacia el Outer Shelf High a manera de onlap.

Es necesario mencionar que en la interpretación de las líneas sísmicas se menciona en repetidas oportunidades, para el análisis del Mesozoico, los siguientes términos: Secuencias Mesozoicas, Secuencia Pre–Albiano y Secuencia Post–Ki (Albiano–Ks). La siguiente tabla muestra que unidades reconocidas en onshore conforman las secuencias antes mencionadas.

SECUENCIAS INTERPRETADAS		UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	ESTADO
SECUENCIAS MESOZOICAS	Secuencia Post-Ki (Albiano-Ks)	Depósitos indiferenciados Ks	Solo mención
		Gpos. Pulluicana–Quilquiñan	En estudio
		Gpo. Casma	En estudio
		Fms. Inca–Chulec–Pariatambo	En estudio
		Fms. Pamplona–Atocongo	En estudio
	Secuencia Pre-Albiano	Gpo. Goyllarisquizga	En estudio
		Gpo. Morro Solar	En estudio
		Fm. Chicama	Solo mención
		Gpo. Puente Piedra	Solo mención
		Volcánico Oyotún	Solo mención
		Posible Triásico	Solo mención

Tabla 1. Secuencias presentes en la interpretación sísmica offshore con sus respectivas unidades estratigráficas reconocidas en onshore.

Acorde con lo antes expuesto se procederá con la descripción de las siguientes secciones sísmicas:

- Sección sísmica 93-30
- Sección sísmica 93-40
- Sección sísmica 93-45
- Sección sísmica 93-49
- Sección sísmica 93-64
- Sección sísmica 93-68

3.4 DIFERENCIACIÓN DE LOS DEPÓSITOS CRETÁDICOS

Luego del reconocimiento geológico de campo y para integrar el estudio de las diferentes unidades Cretácicas; se recopilaron datos bioestratigráficos y algunas dataciones radiométricas para poder reconocer la edad de cada unidad estratigráfica en estudio.

Posteriormente se propuso la elaboración de un *chart* cronoestratigráfico regional, a lo largo de la franja costera y las estribaciones occidentales desde Lima hasta Chiclayo (Figura 3.12); con el objetivo de reconocer la distribución temporal y espacial de dichas unidades.

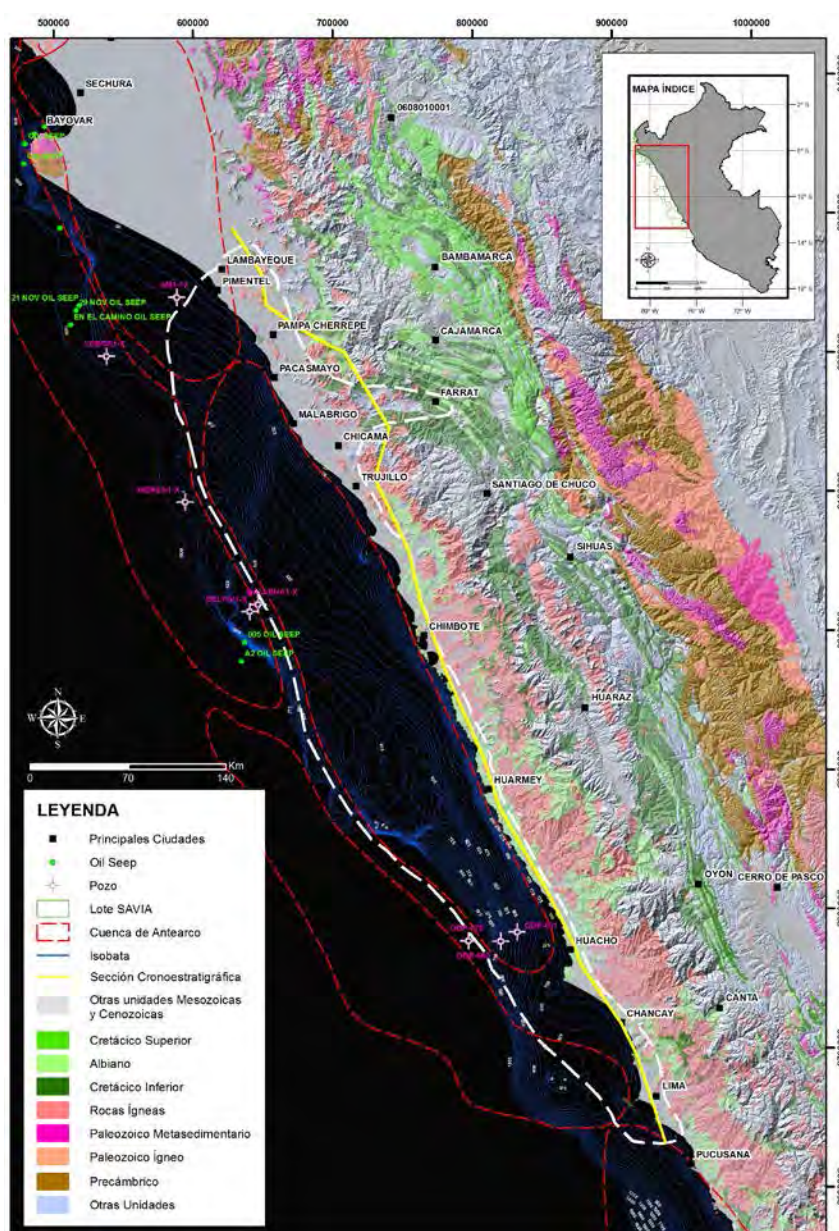


Figura 3.12. Unidades Cretácicas en el área de estudio y sección cronoestratigráfica regional Lima – Chiclayo (línea de color amarillo).

Acorde con esto se ha recopilado información relacionada a los ambientes de deposición de las diferentes unidades Cretácicas y de la misma manera se han reconocido los principales rasgos tectónicos y eustáticos que se desarrollaron durante el Cretácico.

3.4.1 Edad de las unidades Cretácicas

A continuación detallamos los datos cronológicos recopilados para las diferentes unidades Cretácicas:

Grupo Morro Solar

Depósito silicoclástico, dentro del cual se han reconocido los siguientes fósiles característicos (Figura 3.13):

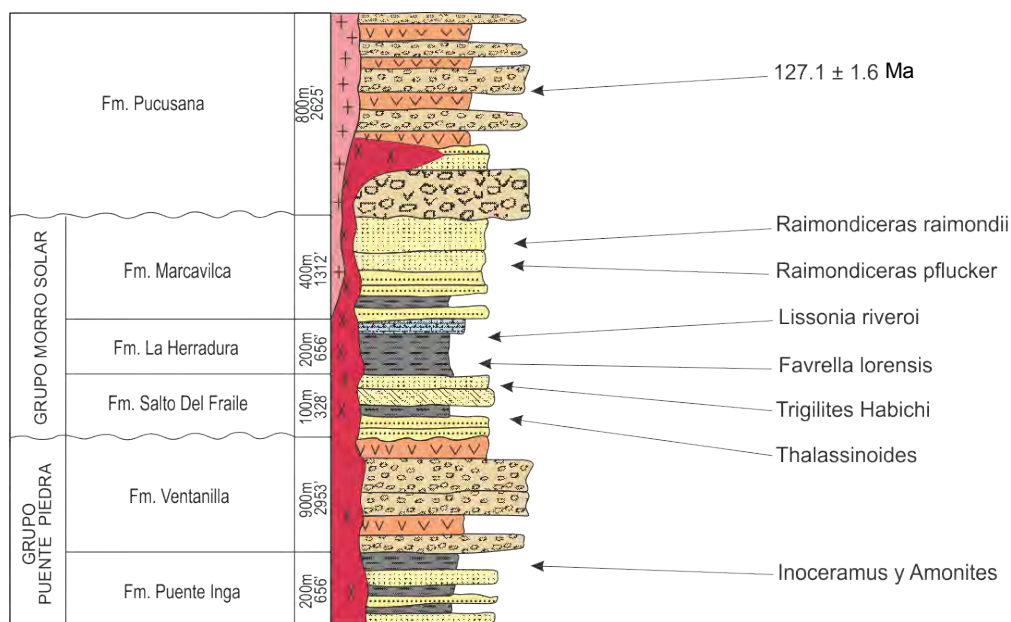


Figura 3.13. Columna estratigráfica del Gpo. Morro Solar y sus fósiles característicos (Rivera, 1975; Palacios, 1992; Aleman et. al., 2006, Romero et. al., 2005).

De la recopilación de fósiles característicos, datos radiométricos y las relaciones estratigráficas, evidenciamos que el Gpo. Morro Solar comprende una edad desde el Berriasiano medio hasta el Hauteriviano medio.

Grupo Goyllarisquizga

Deposito silicoclástico cuya estratigrafía, sobre la costa y estribaciones occidentales de la zona de estudio, varía lateralmente de Este a Oeste (Figura 3.14).

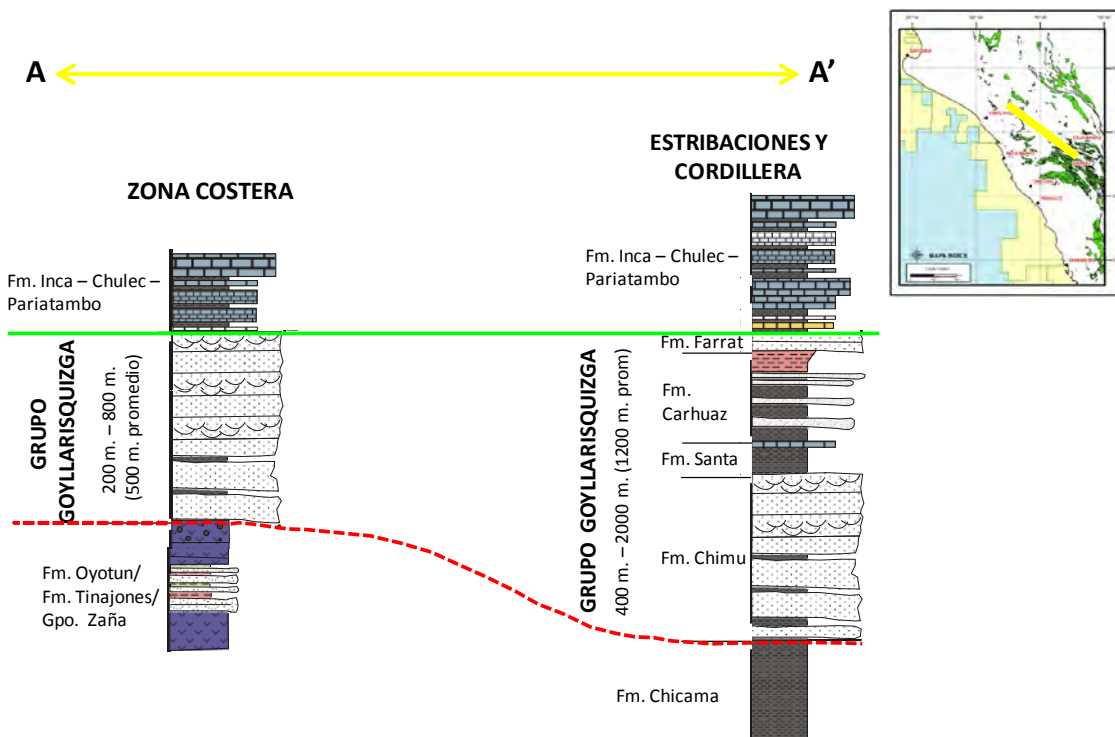


Figura 3.14. Variación lateral E-O de la estratigrafía del Gpo. Goyllarisquizga sobre la costa y estribaciones occidentales del área de estudio (Benavides, 1956; Romero, 2008; Timoteo, 2010).

Dentro de los fósiles encontrados los más característicos se mencionan en la Figura 3.15.

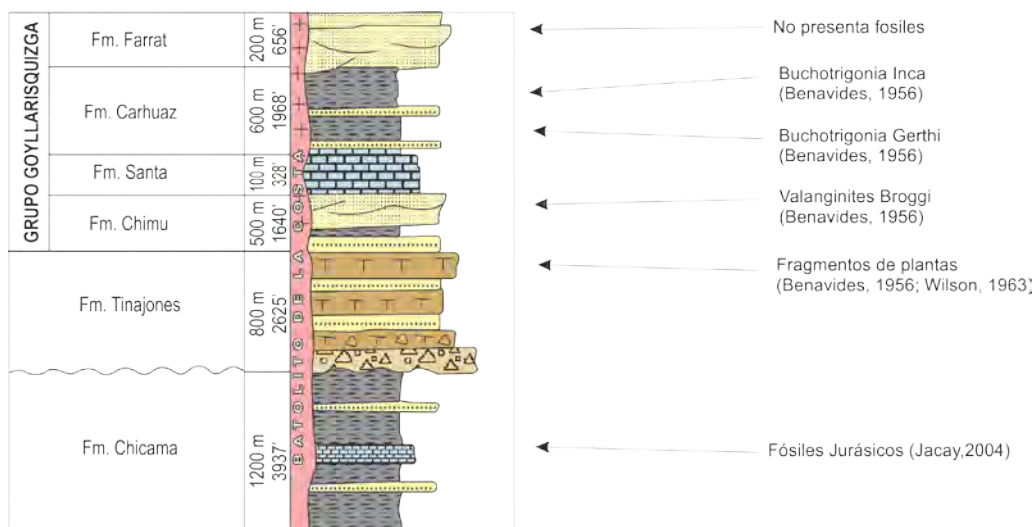


Figura 3.15. Columna estratigráfica del Gpo. Goyllarisquizga y sus fósiles característicos (Benavides, 1956; Wilson, 1963 y Jacay, 2004).

De la recopilación de fósiles característicos y las relaciones estratigráficas evidenciamos que el Gpo. Goyllarisquizga comprende una edad desde el Valanginiano hasta el Aptiano, siendo su base asincrónica según varía su estratigrafía lateralmente (Benavides, 1956; Jaillard, 1997; Robert, 1990).

Formaciones Pamplona – Atocongo

Depósitos mayormente calcáreos con intercalaciones de niveles lutáceos. Dentro de los fósiles encontrados los más característicos se mencionan en la Figura 3.16.

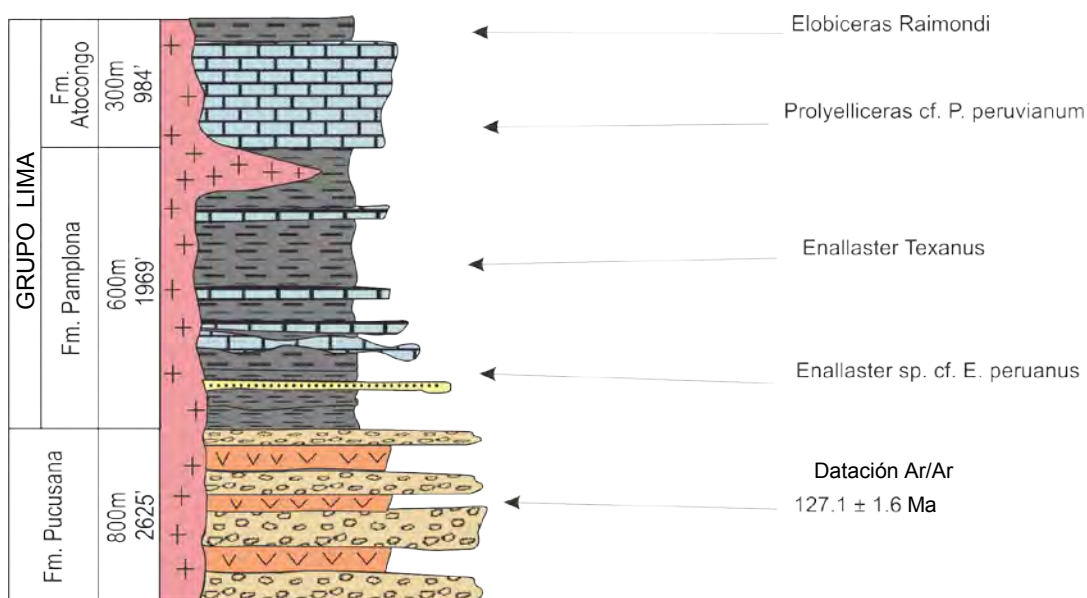


Figura 3.16. Columna estratigráfica de las Fms. Pamplona–Atocongo y sus fósiles característicos (Palacios, 1992; Romero et. al., 2005).

De la recopilación fósiles característicos, datos radiométricos y las relaciones estratigráficas estudiadas por diversos autores hasta la fecha, evidenciamos que las Fms. Pamplona – Atocongo comprenden una edad desde el Barremiano Terminal hasta el Albiano medio (Palacios, 1992; Romero et. al., 2005).

Grupo Casma

Secuencia volcano-sedimentaria, dentro de la cual se han encontrado los siguientes fósiles característicos (Figura 3.17):

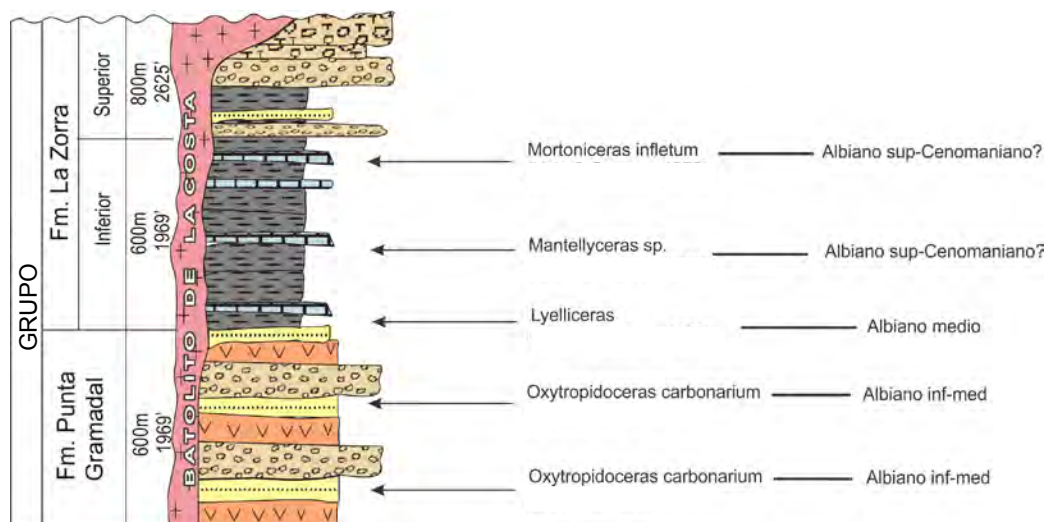


Figura 3.17. Columna estratigráfica del Gpo. Casma y sus fósiles característicos (Vela & Canepa, 1973 en Palacios 1992; Myers, 1974; Guevara, 1980).

De la recopilación de fósiles característicos, datos radiométricos y las relaciones estratigráficas evidenciamos que el Gpo. Casma comprende una edad Albiano – Cenomaniano (Guevara, 1980; Myers, 1980; Polliand, 2005; Romero, 2007).

Formaciones Inca – Chulec – Pariatambo

Secuencia mayormente calcárea. Dentro de los fósiles encontrados, los más característicos se mencionan en la Figura 3.18.

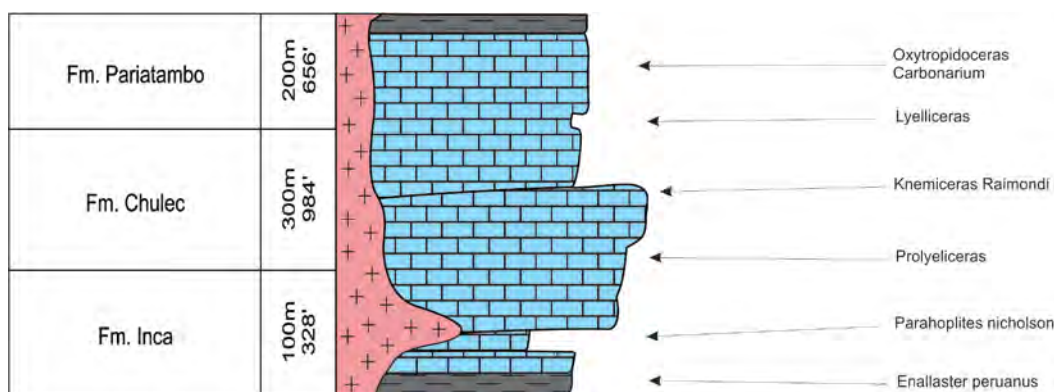


Figura 3.18. Columna estratigráfica de las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo y sus fósiles característicos (Benavides, 1956).

De la recopilación de fósiles característicos, y las relaciones estratigráficas estudiadas por diversos autores, evidenciamos que las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo comprenden una edad desde el Albiano inferior hasta el Albiano medio Terminal.

Grupos Pulluicana – Quilquiñan

Secuencia calcárea dentro de la cual se han encontrado los siguientes fósiles característicos (Figura 3.19):

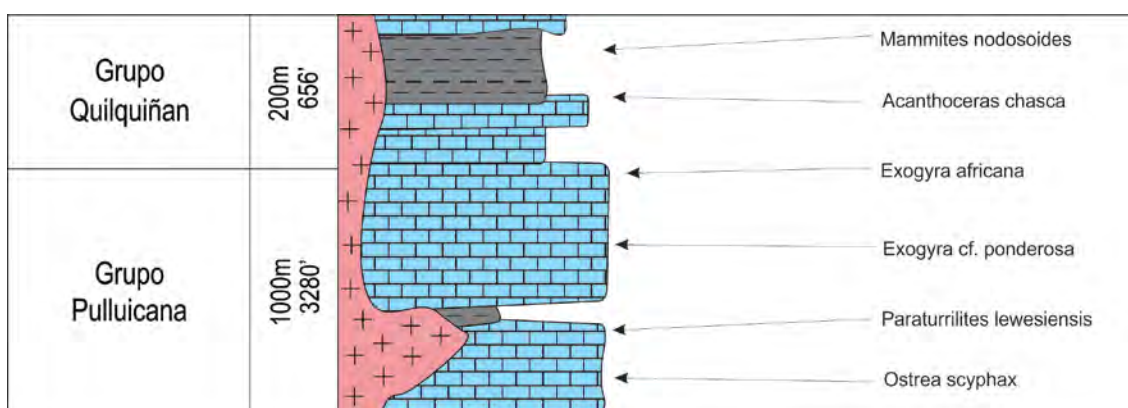


Figura 3.19. Columna estratigráfica de los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan y sus fósiles característicos (Benavides, 1956).

De la recopilación de fósiles característicos, y las relaciones estratigráficas estudiadas por diferentes autores, evidenciamos que los Gpos. Pulluicana – Quilquiñan comprenden una edad desde el Albiano Terminal hasta el Turoniano inferior.

3.4.2 Chart Cronoestratigráfico Regional NO–SE

Una vez evidenciada la edad de las diferentes unidades Cretácicas se elaboró un chart cronoestratigráfico con el objetivo de poseer un esquema de la distribución espacial y temporal de dichas unidades. El presente chart se extiende desde Lima por el sur hasta Chiclayo por el norte; atravesando la Franja Costera por Chancay, Huacho, Huarmey, Chimbote; y parte de las Estribaciones Occidentales a partir de Trujillo, cruzando el Valle del Río Chicama y continuando sobre los afloramientos más occidentales hasta el norte de Chiclayo.

A continuación se esboza una descripción temporal – espacial del chart:

Sobre el extremo sur desde Cañete hasta las Lomas de Pasamayo (Km. 75 de la Panamericana Norte) afloran las areniscas cuarzosas con intercalaciones de lutitas del Gpo. Morro Solar de edad Berriasiano medio – Hauteriviano medio, las cuales sobreyacen en discordancia erosional a la secuencia sedimentaria del Gpo. Yura y a la secuencia volcano-sedimentaria del Gpo. Puente Piedra; ambas del Jurásico (Figura 3.20). Su distribución se encuentra limitada a la franja costera de los alrededores del departamento de Lima y la influencia de fallas inversas ha permitido su exposición en superficie (Aleman et. al., 2006).

De la misma manera hacia la zona norte, desde Chicama hasta Chiclayo, sobre la franja costera y estribaciones occidentales afloran areniscas cuarzosas con intercalaciones de lutitas y algunos niveles de calizas pertenecientes al Gpo. Goyllarisquizga de edad Valanginiano – Aptiano (Figura 3.20). Posee un notable desarrollo sobre la Cordillera Occidental desde Chiclayo por el norte hasta Canta por el Sur (Figura 3.1) y sobreyace indistintamente y en discordancia (disconformidad) a unidades Jurásicas (Benavides, 1956; Romero, 2008; Timoteo, 2010).

Durante parte del Aptiano (Benavides, 1956; Jaillard, 1997, Aleman et. al, 2006) e inicios del Albiano se evidencia un hiato que posee influencia regional tanto sobre la zona norte como por el sur del área de estudio; y marca un limite entre los Depósitos silicoclásticos del Cretácico inferior y los Depósitos Albianos (Figura 3.20).

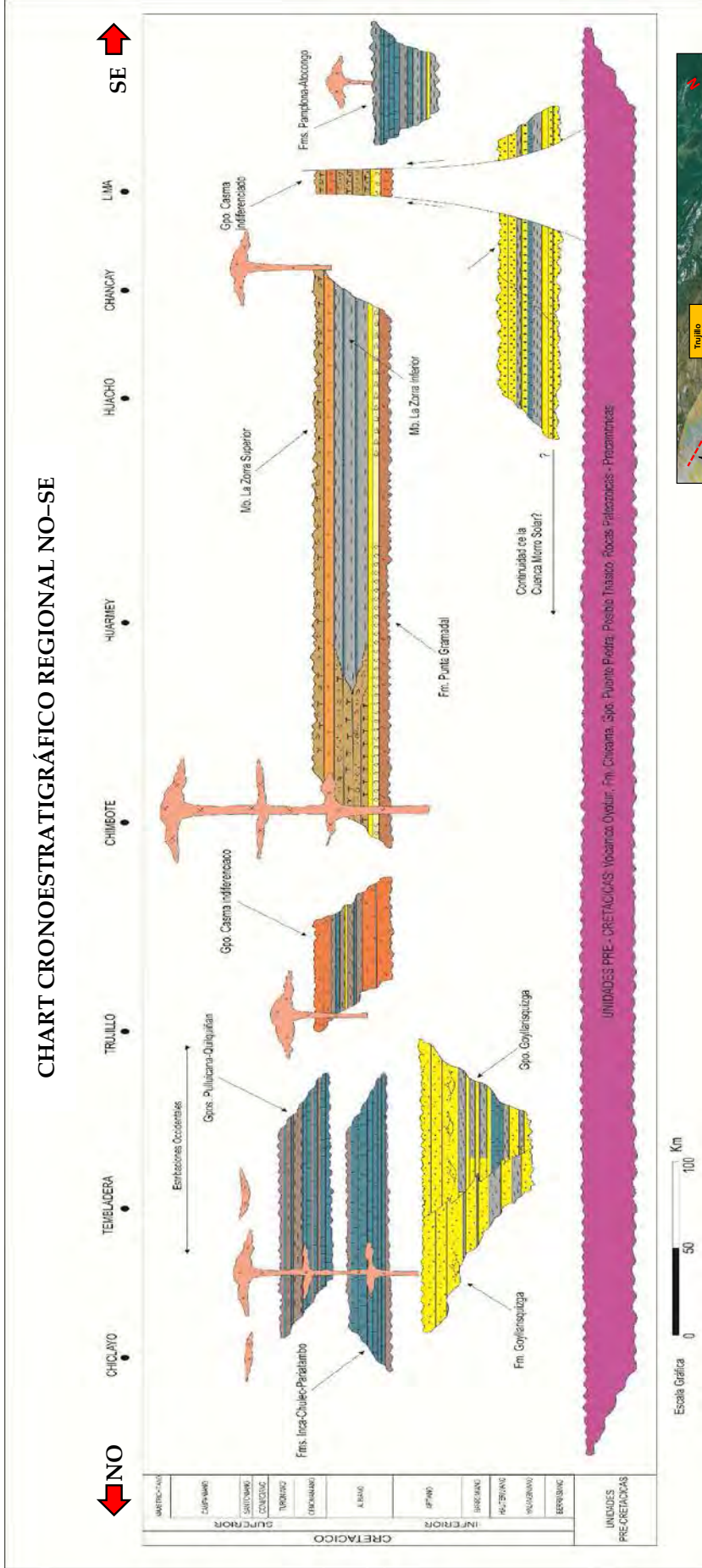
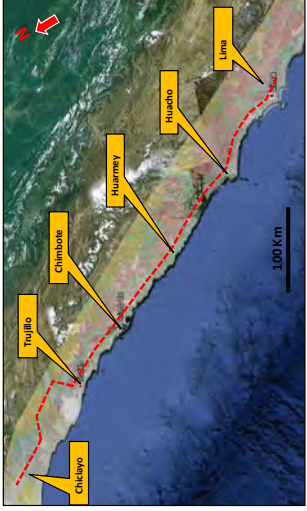


Figura 3.20. Chart cronoestratigráfico regional NO-SE, que atraviesa la zona costera por Lima, Chancay, Huacho, Chimbote; y las estribaciones occidentales a partir de Trujillo, cruzando el Valle del Río Chicama y llegando hasta el norte de Chiclayo. Sobre el lado interior derecho se puede observar el mapa índice de la Sección cronoestratigráfica.



Suprayaciendo a los Depósitos del Cretácico inferior se ha reconocido la secuencia volcano-sedimentaria correspondiente al Gpo. Casma de edad Abiano – Cenomaniano, que se distribuye regionalmente desde Pucusana por el Sur hasta Trujillo por el Norte (Figura 3.1).

Entre Cañete y Chancay posee afloramientos discontinuos, afectados por fallas e intrusivos, que corresponden a una secuencia compuesta principalmente de calizas y lutitas que varían lateralmente tanto de espesor como de composición litológica, y es definida como Fms. Pamplona – Atocongo (Savia, 2009d).

Sobre la franja costera de Huacho, Huarmey y Chimbote posee afloramientos continuos con influencia restringida de algunos intrusivos. Hacia la base está compuesta por lavas en almohadilla, brechas y areniscas volcanoclásticas, definidas como Fm. Punta Gramadal, a la cual sobreyacen lutitas carbonosas con intercalación de calizas y areniscas, pertenecientes al Mb. Inferior de la Fm. La Zorra; y finalmente y en concordancia se tienen piroclastos, brechas y lavas volcánicas pertenecientes al Mb. Superior de la Fm. La Zorra.

Las facies más septentrionales del Gpo. Casma se evidencian entre Chimbote y Trujillo.

Así mismo sobre la franja costera y estribaciones occidentales de la zona norte del área de estudio, desde Chicama hasta Chiclayo, afloran calizas gris oscuras con intercalaciones de lutitas gris oscuras y algunos niveles de margas que pertenecen a las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo (Figura 3.20), las cuales han sido afectadas por un fuerte plegamiento. Poseen un notable desarrollo sobre la Cordillera Occidental desde Chiclayo por el Norte hasta Canta por el Sur (Figura 3.20) y sobreyacen discordantemente a los Depósitos silicoclásticos del Cretácico inferior.

Benavides (1956) hace mención de una importante discordancia al tope de la Fm. Pariatambo, lo cual evidenciaría un hiato sobre la zona norte del área de estudio, el cual marcaría el límite entre los Depósitos Albianos y las Formaciones post-Pariatambo (Figura 3.20).

De la misma manera hacia el tope y sobreyaciendo a los Depósitos Albianos tenemos calizas grises, margas e intercalaciones de lutitas pertenecientes a los Gpos. Pulluicana – Quilquiñan de edad Albiano terminal – Turoniano inferior. Sus afloramientos sobre la franja costera son aislados y discontinuos; en tanto que sobre la Cordillera Occidental desde Cajamarca hasta Huambos posee una distribución continua. Su distribución se encuentra limitada a la zona norte del área de estudio.

Es necesario mencionar que las unidades más antiguas de las que se tiene evidencia en la sección en estudio, corresponden a formaciones Jurásicas; e infrayaciendo a éstas es posible que tengamos secuencias meta-sedimentarias de edad Precámbrico-Paleozoico que conformarían el “basamento pre-mesozoico”, descrito en el apartado 2.2.1.

3.4.3 Secuencias Cretácicas diferenciadas

Berriasiano – Aptiano Inferior (~24 Ma)

Durante este periodo se desarrolló un régimen extensional donde el fallamiento normal generó depocentros limitados por altos estructurales, a manera de horts y grábenes, lo cual condicionó la continuidad de los depósitos sedimentarios (Ramos, 2009a).

En dicho contexto tectónico sobre la zona sur del área de estudio, desde Cañete hasta Pasamayo, se depositó la secuencia silicoclástica correspondiente al Gpo. Morro Solar, para la cual diferentes autores (Palacios, 1992; Aleman et. al., 2006) proponen un medio litoral a marino somero dominado por la acción de las mareas (tidal) como su ambiente de depositación. Los trabajos de campo precedentes indican que su espesor varía de 170 m. (alrededores de Lurín) a 600 m. (Este de Río Omas).

Así mismo sobre la zona norte del área de estudio, desde Chicama hasta Chiclayo, diferentes autores (Benavides, 1956; INGEMMET, 1996 – Boletín 76 – Seria A) evidencian facies predominantemente fluvio – deltaicas con influencia de depósitos marinos de plataforma somera (Fms. Santa y Carhuaz) que corresponden al Gpo. Goyllarisquizga. El

reconocimiento de campo precedente indica que su espesor varía de 80 m. (localidad de Tambería) a 2036 m. (localidad de Sunchubamba).

Acorde con lo antes mencionado, durante este periodo la curva eustática global (Haq, 1987) evidencia un marcado descenso del nivel relativo del mar, predominando así la **progradación** (Figura 3.21).

Albiano (~13 Ma)

Se caracteriza por la interrupción del régimen extensional, el cual deja de ser activo manifestándose un periodo de pasividad tectónica que permitió el desarrollo de grandes cuencas, producidas básicamente por enfriamiento térmico, asociadas a un proceso transgresivo y a un evento anóxico global (Haq, 1987; Goncalves, 2008; Ramos, 2009a; Timoteo, 2010).

En dicho contexto sobre la zona norte del área de estudio, desde Chicama hasta Chiclayo, se desarrollaron facies de tras-arco correspondientes a depósitos de plataforma somera hacia la base (Fm. Inca), cambiando a condiciones más profundas y tranquilas hacia el tope (Fm. Pariatambo), lo cual fue favorable para la acumulación y preservación de la materia orgánica (Benavides, 1956).

El espesor de las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo reconocido en campo varía de 91 m. (localidad de Mocupe) a 848 m. (alrededores de Huambos).

Así mismo sobre el Perú Central, desde Lima hasta Trujillo, se evidencia una atenuada actividad volcánica asociada a depósitos marinos, producto de los eventos transgresivos, correspondientes al Gpo. Casma (Soler, 1991; Pethford et.al. 1996). Acorde con lo antes mencionado, durante este periodo la curva eustática global (Haq, 1987) evidencia un marcado incremento del nivel relativo del mar, predominando así la **retrogradación** (Figura 3.21).

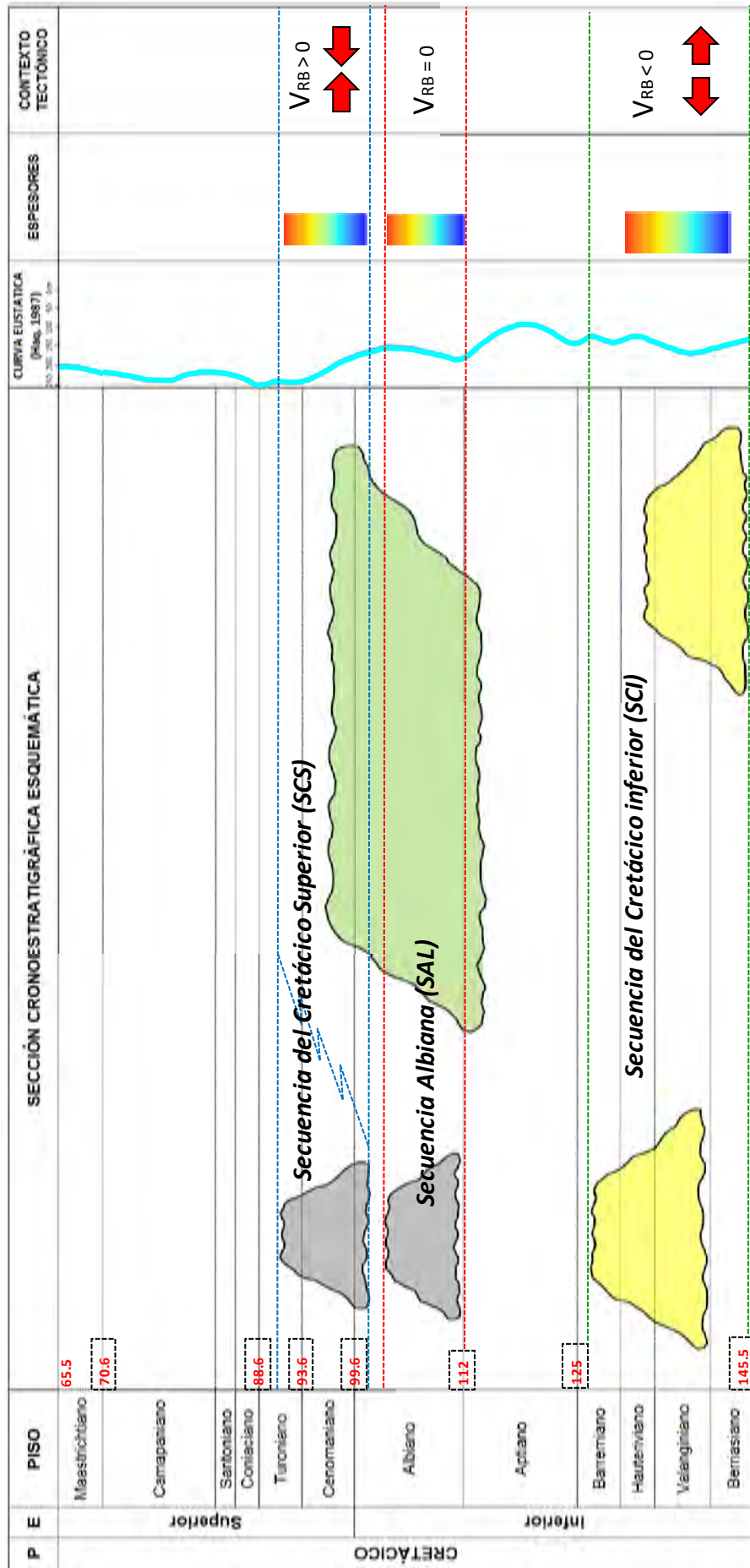


Figura 3.21. Marco cronoestratigráfico para el Cretácico. La integración de los datos litoestratigráficos, características sedimentológicas, fósiles y algunos rasgos tectónicos y eustáticos han permitido diferenciar 3 secuencias de segundo orden.

Albiano Terminal – Turoniano Inf. (~9 Ma)

Durante este período se desarrolló un régimen tectónico compresivo influenciado por las últimas fases transgresivas iniciadas desde el Albiano. En dicho contexto sobre la zona norte del área de estudio, desde Chicama hasta Chiclayo, se desarrollaron depósitos de plataforma en posición de tras-arco correspondientes a los Gpos. Pulluicana – Quilquiñan (Benavides, 1956; Cobbing, 1981). Los trabajos de campo precedentes indican que su espesor varía de 348 m. (localidad de Crisnejas) a 1382 m. (alrededores de Celendín).

Según la curva eustática global (Haq, 1987) manifiesta un incremento del nivel relativo del mar, predominando así la **retrogradación** (Figura 3.21).

POR LO TANTO:

A través de la integración de los datos litoestratigráficos, características sedimentológicas, datos cronológicos (fósiles y dataciones), y algunos rasgos tectónicos y eustáticos se ha podido establecer un marco cronoestratigráfico para el Cretácico, que permite diferenciar 3 secuencias estratigráficas limitadas por discordancias (Figura 3.20 y 3.21). Acorde con Mitchum (1977), Vail et. al. (1991) y Einsele (1992); el orden correspondiente a las secuencias sedimentarias se diferencia en base a su edad, espesor y al cambio relativo del nivel del mar durante su desarrollo.

Según las evidencias descritas en los apartados 3.4.1, 3.4.2 y 3.4.3 del presente estudio; los depósitos Cretácicos han sido diferenciados en 3 secuencias de segundo orden (Figura 3.21):

- **Secuencia del Cretácico Inferior (en adelante SCI):** conformada por el Gpo. Morro Solar y Gpo. Goyllarisquizga.
- **Secuencia Albiana (en adelante SAL):** conformada por las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo, las facies sedimentarias del Gpo. Casma y las Fms. Pamplona–Atocongo como sus equivalentes laterales.
- **Secuencia del Cretácico Superior (en adelante SCS):** conformada por los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan.

CAPÍTULO IV

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA COSTA Y PLATAFORMA CONTINENTAL DEL CENTRO–NORTE DEL PERÚ

En el presente capítulo se reconocen y describen las principales estructuras regionales offshore –onshore así como las morfoestructuras ó altos estructurales que pudieron condicionar la depositación de las Secuencias Cretácicas.

Por lo cual se han estudiado los principales sistemas de fallas, los pliegues y las posibles paleoestructuras volcánicas; a lo largo del área de estudio.

Es así que posterior al reconocimiento de las estructuras regionales y su comportamiento; se ha obtenido un esquema de la configuración estructural actual de la Costa y Plataforma del Centro–Norte del Perú; y la influencia que ha tenido en la distribución de las Secuencias Cretácicas.

4.1 RASGOS ESTRUCTURALES EN COSTA, ESTRIBACIONES Y PLATAFORMA CONTINENTAL

El estudio geológico estructural realizado en Costa y Estribaciones, dentro del área de estudio, ha permitido: reconocer los rasgos estructurales y su comportamiento, proyectar de manera coherente los *trends* estructurales hacia offshore (lo cual ha permitido amarrar la interpretación sísmica) y tener una idea del contexto estructural en el subsuelo. Los rasgos estructurales reconocidos en el área de estudio provienen de diferentes fuentes:

- Interpretación de imágenes satelitales; del cartografiado digital en Costa y Cordillera realizado por Savia (2009a).
- Interpretación sísmica de la Cuenca Salaverry (Savia, 2009-2010).

- Interpretación, validación y/o modificación, estructural onshore realizado por el presente autor.
- Interpretación estructural de los mapas de contornos estructurales offshore, realizado por el presente autor.
- Estudio estructural de la Cuenca Goyllarisquiza (Romero, 2008).
- Estudio estructural de la Cordillera Occidental del Norte del Perú (Cobbing, 1981).
- Carta Geológica Nacional 1:100 000 (INGEMMET).

Cabe mencionar que el estudio estructural ha sido realizado utilizando imágenes satelitales, líneas sísmicas, DEM y cartografía geológica digital; e integrando toda la data interpretada, en

diferentes *softwares*, a través de herramientas GIS.

De esta manera se ha delineado un esquema estructural; conformado por los principales sistemas de fallas (master faults), fallas inferidas, lineamientos, ejes de pliegues, posibles centros volcánicos y altos estructurales que parametrizan la distribución de las Secuencias Cretácicas.

4.1.1 Principales Sistemas de Fallas (Master faults)

Su reconocimiento es fundamental debido a que:

- Agrupan un conjunto de fallas con características similares.
- Actúan como **límite de cuenca** (border fault), **generando depocentros** (hemigraben, graben) donde los depósitos poseen mayor probabilidad de haberse preservado.
- **Controlan altos estructurales**, condicionando la depositación.
- **Influencian la continuidad lateral** de los depósitos y su espesor.
- Guardan alguna relación con el Batolito Costero y con el vulcanismo Cretácico y Cenozoico.

Se han clasificado en 3 grupos, los cuales se describen a continuación:

A) Fallas Recopiladas y Validadas (Figura 4.1)

Corresponde a los sistemas de fallas de mayor influencia sobre las Estribaciones Occidentales y Cordillera; los cuales actúan como límite de cuenca, controlan altos estructurales e influyen la continuidad lateral de las Secuencias Cretácicas en estudio. Dichos sistemas han sido reconocidos, estudiados y cartografiados en trabajos previos (Cobbing, 1981; Mc Nulty & Farber, 2002; Romero, 2008; INGEMMET), por lo que fue necesario revisarlos y validarlos.

Es necesario resaltar que se han revisado estructuras que se encuentran fuera del área de estudio propiamente dicha, con el objetivo de adquirir un enfoque regional del contexto estructural, que no este limitado y encasillado a una determinada área geográfica.

Sistema de Fallas Marañon (SFM)

Corresponde a un sistema de fallas inversas de rumbo andino y vergencia hacia el Este; que se extiende desde Bambamarca por el Norte atravesando Quiches y llegando hasta Yanahuanca por el Sur. Define el límite oriental de las Cuencas Mesozoicas y pone en contacto a las Secuencias Cretácicas con el Basamento Pre-Mesozoico.

Su actual contexto estructural es producto de la inversión tectónica, posiblemente influenciada por un nivel de *detachment* (lutitas de la Fm. Chicama), la cual genera el cabalgamiento de unidades Mesozoicas sobre el Complejo Marañon de edad Precámbrico-Paleozoico. Durante el Mesozoico actuaron como fallas extensionales de componente normal y buzamiento Oeste; originando el borde Este de la Cuenca Goyllarisquizga y controlando su sedimentación (Presente investigación y Cobbing, 1981).

Sistema de Fallas Chonta (SFCh)

Corresponde a un sistema de fallas inversas de rumbo andino y vergencia hacia al Este; que se extiende desde Santiago de Chuco por el Norte atravesando Sihuas, Huari, Oyon y llegando hasta Casapalca por el Sur. Pone en contacto a la Fm. Chicama con la Secuencia del Cretácico Inferior y, a esta última con la Fm. Jumasha y el Volcánico Cenozoico.

Ha sido propuesto, por Romero (2008; pp 3 y 4), como el límite oriental de la Cuenca Goyllarisquizga aún cuando hacia el Oeste del mencionado sistema continúan los afloramientos de dicha unidad Cretácica; por lo que es necesario mencionar que el Sistema de Fallas Marañon también podría actuar como límite oriental de la Cuenca Goyllarisquizga.

Sistema de Fallas Cordillera Blanca (SFCB)

Corresponde a un sistema de fallas de rumbo sinistral con componente normal y buzamiento Oeste, las cuales generan una Cuenca Plio–Cuaternaria con horst y graben de dirección NO–SE. Se extiende desde Huallanca por el Norte atravesando Huaraz y llegando hasta Chiquian por el Sur y pone en contacto tanto al Volcánico Cenozoico y los Depósitos Cuaternarios con el Batolito de la Cordillera Blanca.

Su actual contexto estructural es producto de la inversión tectónica, ya que antes consistió de un sistema de fallas inversas con vergencia al Este (Romero, 2008; pp 3 y 4).

Su origen y comportamiento estructural está relacionado al emplazamiento del Batolito de la Cordillera Blanca (8 -12 Ma) y al régimen de subducción de la Placa de Nazca y la dorsal asísmica de Nazca (Mc Nulty & Farber, 2002; pp 568, 569).

Sistema de Fallas Huaraz – Recuay (SFHR)

Corresponde a un sistema de fallas inversas de rumbo andino y vergencia hacia el Oeste (Romero, 2008; pp 3 y 5); se extiende desde Santiago de Chuco por el Norte, atravesando Caraz, Yungay, Carhuaz, Huaraz, Recuay y llegando hasta Oyón por el Sur.

Pone en contacto a la Fm. Chicama con la Secuencia del Cretácico Inferior y, al Volcánico Cenozoico con los Depósitos Cuaternarios (Figura 4.1).

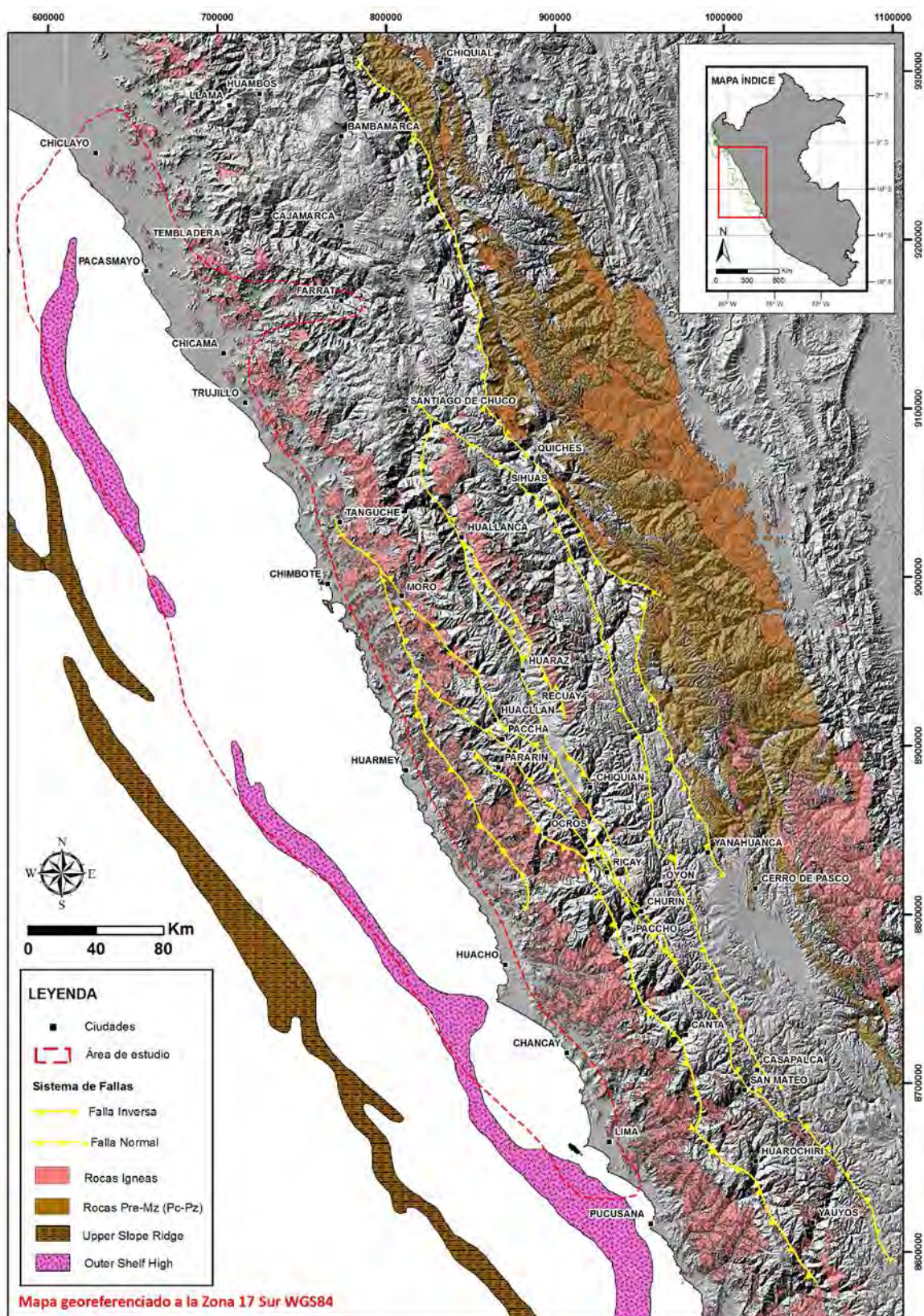


Figura 4.1. Sistemas de Fallas de mayor influencia en las Estraciones Occidentales y Cordillera (estructuras recopiladas y validadas).

Sistema de Fallas Tapacocha (SFT)

Corresponde a un sistema de fallas inversas de rumbo andino con vergencia hacia el Oeste; que limita el dominio occidental de la Cuenca Goyllarisquizga con el dominio oriental de la Cuenca Cretácica Casma – Morro Solar (presente investigación y Romero, 2008; pp 3, 1 y 5).

Acorde con esto Cobbing (1981) menciona que el Eje de Tapacocha corresponde al límite oriental tanto del Batolito Costero como de la secuencia volcano-sedimentaria del Gpo. Casma. Se extiende desde la latitud de Chimbote por el Norte, atravesando Paccha y llegando hasta Ricay por el Sur.

Es necesario mencionar que el Sistema de Fallas Tapacocha y Sistema de Fallas Huacllan–Churin convergen a la altura de Ricay y se convierten en el Sistema de Fallas Huacllan–Churin–San Mateo. Ambos sistemas durante el Mesozoico actuaron como fallas normales con buzamiento Este, originando el borde Oeste de la Cuenca Goyllarisquizga y controlando su sedimentación (Presente investigación y Cobbing, 1981).

Sistema de Fallas Huacllan – Churin – San Mateo (SFHChSM)

Corresponde a un sistema de fallas inversas de rumbo andino y vergencia hacia el Oeste, que se extienden desde Tanguche por el Norte, atravesando Moro, Huacllan, Churín y llegando hasta San Mateo por el Sur. Pone en contacto a la Secuencia del Cretácico Inferior con el Volcánico Cenozoico (Figura 4.1). Ha sido propuesto como uno de los límites occidentales de la Cuenca Goyllarisquizga (Romero, 2008; pp 3 y 5) y durante el Mesozoico actuó de manera extensional sobre el borde de la Cuenca.

Sistema de Fallas Ocros – Canta – Yauyos (SFOCCY)

Dicho sistema se encuentra al Oeste del Sistema de Fallas Tapacocha, forma parte del dominio de la Cuenca Cretácica Casma – Morro Solar y consiste de un sistema de fallas inversas con vergencia hacia el Este. Pone en contacto a la Secuencia Albiana con el Volcánico Cenozoico (Figura 4.1). Se extiende desde Pararin por el Norte, atravesando Ocros, Paccho, Canta, Huarochiri y llegando hasta Yauyos por el Sur.

Según Romero (2008) y Romero et. al. (2010) este sistema tiene relación con el Alto estructural Paccha – Canta – Yauyos, que habría separado a la Cuenca Goyllarisquizga de la Cuenca Morro Solar.

B) Fallas Onshore Inferidas (Figura 4.2)

Comprende las fallas interpretadas sobre la Franja Costera, Estribaciones y Cordillera; tomando como base el cartografiado digital de Savia (2009a), modificándolo y proponiendo nuevas estructuras; según criterio del presente autor.

La interpretación se realizó a través del cartografiado digital; utilizando el DEM (*Digital Elevation Model*) de Costa y Cordillera, la cartografía geológica digital e imágenes satelitales.

Las estructuras interpretadas, a lo largo del área de estudio, principalmente afectan a las Secuencias Cretácicas y al Batolito Costero; y también definen altos estructurales que exponen rocas Jurasicas (Volcánico Oyotun, Fm. Chicama, Gpo. Puente Piedra y Fm. Tinajones). De manera preliminar las fallas onshore interpretadas han sido nombradas como “Fn” (donde “n” corresponde a un número) para posteriormente ser agrupadas en 4 principales dominios estructurales según su orientación preferencial:

Dominio Estructural NE–SO

Sobre la Zona Norte, entre Trujillo y Chiclayo, comprende seis (6) fallas (F30, F35, F29, F36, F39 y F43). Tres de ellas, son fallas normales con buzamiento SE, paralelas próximas entre sí (F30, F35 y F29); en tanto dos de ellas son fallas de rumbo sinestral (F36 y F39); y en conjunto afectan a la Secuencia Jurásica (Fm. Chicama, Volcánico Oyotun y Fm. Tinajones), a la Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Goyllarisquizga), a la Secuencia Albiana (Fms. Inca-Chulec-Pariatambo y Gpo. Casma), a la Secuencia del Cretácico Superior (Gpos. Pulluicana–Quilquiñan), al Batolito Costero y al Volcánico Cenozoico.

F43 es una Falla normal con buzamiento NO que actúa como límite SE de la Cuenca Sechura y afecta a la Secuencia Jurasica (Volcánico Oyotun) y a las Secuencias Cretácicas.

Sobre la Zona Centro, entre Huacho y Huarmey, comprende siete (7) fallas (F19, F20, F23, F21, F22, F25 y F26). Cuatro de ellas, son fallas normales (F19, F23, F20 y F26) en tanto tres son fallas de rumbo (F21, F22 y F25); y en conjunto afectan a la Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Goyllarisquizga), a la Secuencia Albiana (Gpo. Casma), al Batolito Costero y al Volcánico Cenozoico.

Sobre la Zona Sur, entre Lima y Chancay, comprende doce (12) fallas (F1, F2 F3, F4, F5, F7, F8, F9, F12, F13, F14 y F15). Cinco de ellas, son fallas normales paralelas y próximas entre sí (F1, F2, F3, F4 y F5) y todas afectan a la Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Morro Solar), a la Secuencia Albiana (Gpo. Lima, Fm. La Zorra y Gpo. Casma) y al Batolito Costero. Así mismo las siete restantes, son fallas de rumbo paralelas próximas entre sí (F7, F8, F9, F12, F13, F14 y F15); y en conjunto afectan principalmente a la Secuencia Albiana (Gpo. Casma) y al Batolito Costero.

Dominio Estructural de Rumbo Andino

Comprende nueve (9) fallas (F6, F10, F11, F34, F37, F38, F24, F41 y F42). Tres de ellas, son fallas subparalelas próximas entre sí (F6, F10 y F11); otras tres, son fallas normales subparalelas próximas entre sí (F34, F37 y F38); y en conjunto afectan a la Secuencia Jurasica (Volcánico Oyotun y Fm. Tinajones), a la Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Goyllarisquizga), a la Secuencia Albiana (Inca–Chulec–Pariatambo), a la Secuencia del Cretácico Superior (Gpos. Pulluicana–Quilquiñan), al Batolito y al Volcánico Cenozoico.

F24 y F41 son dos fallas próximas entre sí. F24 es una falla inversa con vergencia al Este, F41 es una falla inferida. F42 es una falla inversa con vergencia al Oeste que afecta a la Secuencia Jurásica (Fm. Chicama) y a la Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Goyllarisquizga).

Dominio Estructural de la Deflexión de Huancabamba

Comprende cinco (5) fallas (F31, F32, F33 y F40); las cuales forman parte de la Deflexión de Huancabamba que posee una dirección E–O. Dichas fallas son paralelas, aparentemente inversas con vergencia al Norte (F31, F32 y F40) y al Sur (F33); y con componente de rumbo; poseen dirección NNO-SSE sobre su tramo Sur y luego cambian a dirección ONO–ESE. Afectan a la Secuencia Jurasica (Volcánico Oyotun, Fm. Chicama), a la Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Goyllarisquizga), a la Secuencia Albiana (Fms. Inca-Chulec-Pariatambo), a la Secuencia del Cretácico Superior (Gpos. Pulluicana-Quilquiñan), al Batolito Costero y al Volcánico Cenozoico. F27 y F28 poseen orientación similar pero genéticamente no están relacionadas a la Deflexión de Huancabamba.

Dominio Estructural NO–SE

Comprende tres (3) fallas. F16 y F18 son fallas inferidas; en tanto que F17 es una falla normal con buzamiento SO, posiblemente con componente de rumbo dextral. Todas afectan a la Secuencia Albiana (Gpo. Casma) y al Batolito Costero.

C) FALLAS OFFSHORE INFERIDAS (Figura 4.4)

Comprende las fallas interpretadas en el subsuelo de la Plataforma Continental; tomando como base los mapas de contornos estructurales, generados a partir de la interpretación sísmica offshore de 3 horizontes: el Tope del Paleozoico (TPz), la Base del Albiano (BAIb) y la Base del Cenozoico (BCz). Para la interpretación de fallas offshore se han tomado en cuenta los siguientes criterios:

Criterio 1: identificación de la variación brusca de la pendiente, en una distancia reducida.

Criterio 2: reconocimiento de la virgación de la dirección de los contornos estructurales.

Criterio 3: reconocimiento de una tendencia lineal en los contornos de espaciamiento estrecho.

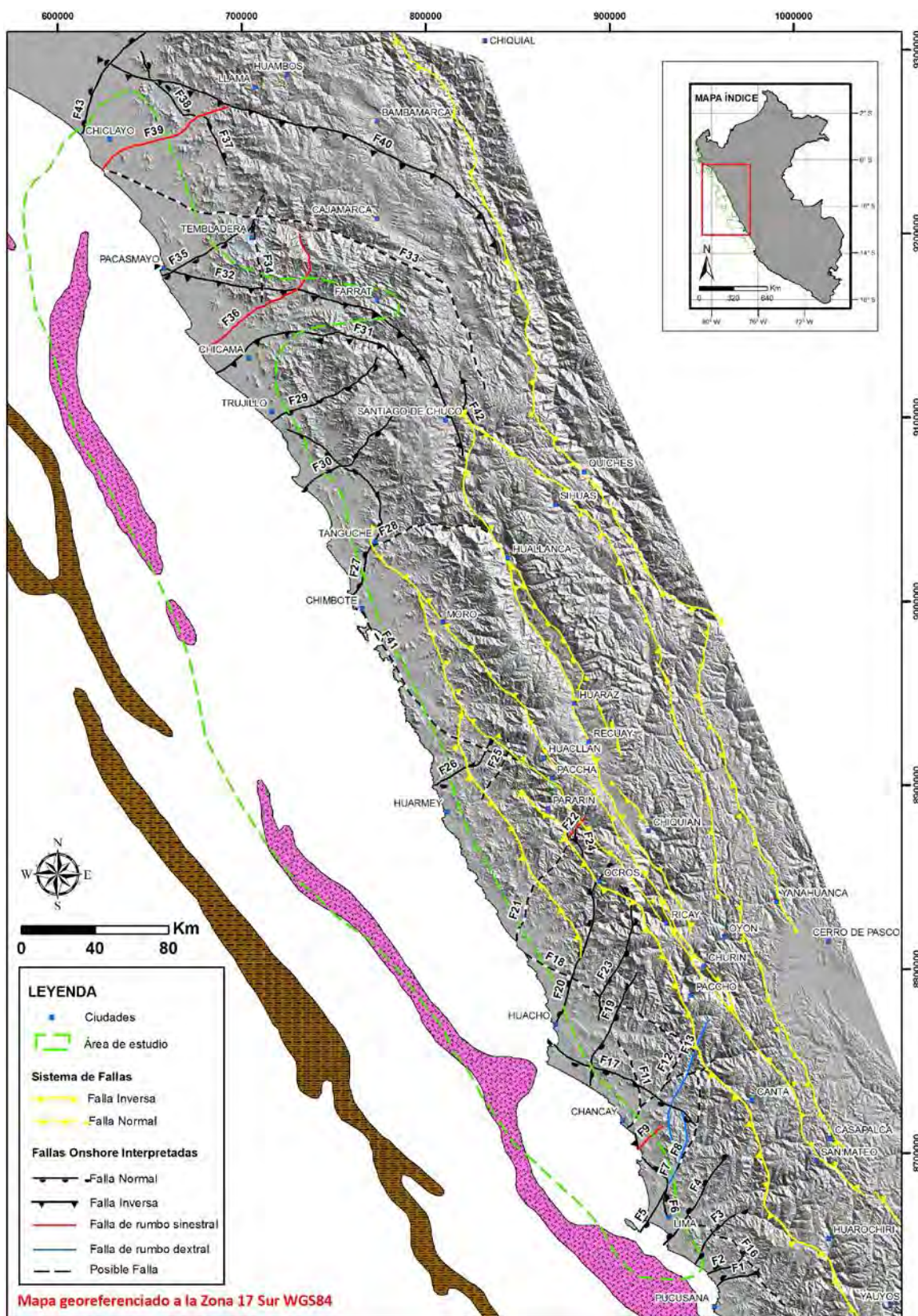


Figura 4.2. Fallas onshore interpretadas sobre la Zona Costera, Estribaciones y Cordillera.

Los mapas de contornos estructurales offshore corresponden a:

- Mapa de contornos estructurales del horizonte Tope del Paleozoico en tiempo
- Mapa de contornos estructurales del horizonte Base del Albiano en tiempo
- Mapa de contornos estructurales del horizonte Base del Cenozoico en tiempo

Acorde con esto, las fallas interpretadas por cada horizonte sísmico se integraron en un solo mapa donde se ha evidenciado la magnitud que posee cada falla; procediendo a cartografiar aquellas que afectan los 3 horizontes sísmicos antes mencionados (Figura 4.3), debido a que afectan tanto al Basamento Pre-Mesozoico como a la Secuencia Mesozoica y poseen una marcada influencia en la configuración estructural del subsuelo de la Plataforma Continental dentro del área de estudio.

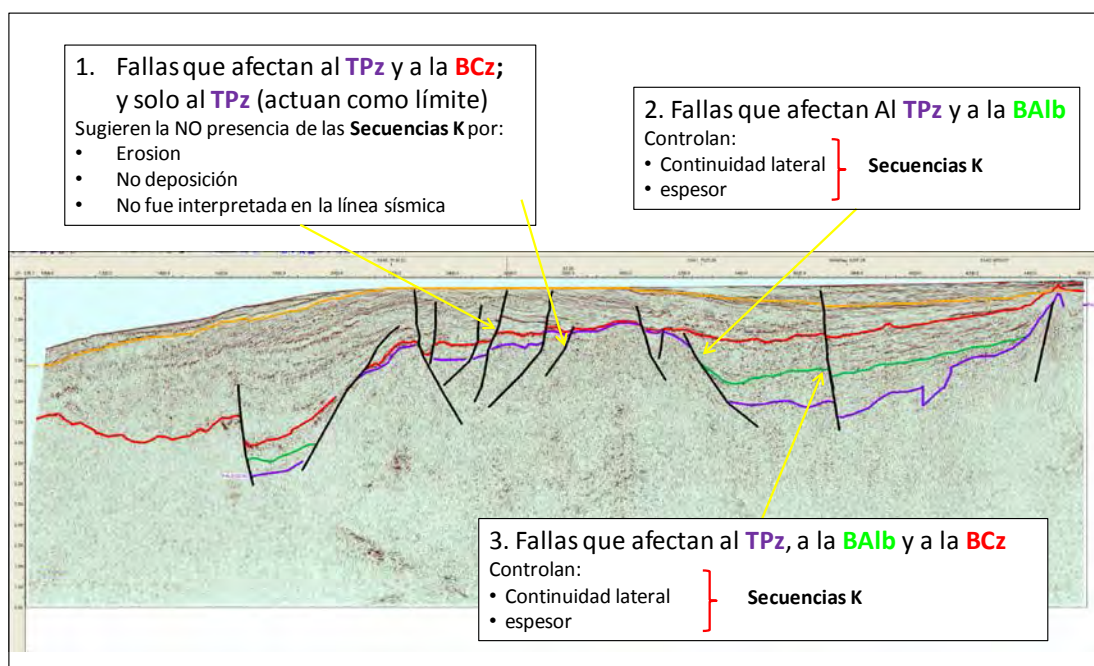


Figura 4.3. Metodología utilizada para reconocer la magnitud de las fallas que afectan tanto al Basamento Pre-Mesozoico como a la Secuencia Mesozoica.

De manera preliminar las fallas offshore interpretadas han sido nombradas como "FO_n" (donde "n" corresponde a un número) para posteriormente ser agrupadas en 4 principales dominios estructurales según su orientación preferencial:

Dominio Estructural NE–SO

Sobre la Zona Norte, entre las latitudes de Chiclayo y Cherrepe, comprende tres (3) fallas (FO48, FO51 y FO53).

Sobre la Zona Centro, entre las latitudes de Puerto Morín y Paramonga, comprende nueve (9) fallas (FO18, FO19, FO23, FO24, FO26, FO27, FO30, FO32 y FO59); las cuales son fallas de intracuenca que afectan directamente a los depocentros.

Sobre la Zona Sur, entre las latitudes de Huacho y Lima, comprende diez (10) fallas (FO2, FO3, FO4, FO5, FO9, FO10, FO11, FO13, FO14 y FO15) y afectan al Tope del Paleozoico, a la Base del Albiano y a la Base del Cenozoico.

Dominio Estructural Cordillera de la Costa – Outer Shelf High (CC-OSH)

Sobre la Zona Norte, entre las latitudes de Chiclayo y Trujillo, comprende cinco (5) fallas que poseen entre 40 y 90 Km. de longitud y controlan el borde occidental del Alto Cordillera de la Costa – Outer Shelf High, limitando la Cuenca Salaverry con las Cuencas Trujillo y Sechura (FO42, FO43, FO46, FO47 y FO52).

Sobre la Zona Centro, entre las latitudes de Trujillo y Huacho, comprende diez (10) fallas. Cinco de ellas controlan el borde oriental del Alto Cordillera de la Costa–Outer Shelf High definiendo los principales depocentros en la Cuenca Salaverry (FO20, FO21, FO28, FO29 y FO61). En tanto las restantes controlan el borde occidental del mismo Alto, limitando la Cuenca Salaverry con las Cuencas Trujillo y Lima (FO33, FO34, FO36, FO41 y FO62); y en conjunto afectan al Tope del Paleozoico y la Base del Cenozoico.

Sobre la Zona Sur, entre las latitudes de Huacho y Lima, comprende seis (6) fallas y todas controlan el Alto Cordillera de la Costa – Outer Shelf High en la Cuenca Lima como transición hacia la Cuenca Pisco (FO1, FO6, FO7, FO8, FO12 y FO16).

Cabe mencionar que las fallas FO22, FO65, FO66, FO67 aunque solo afectan a la Base del Albiano poseen fuerte relación genética con el Dominio de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High.

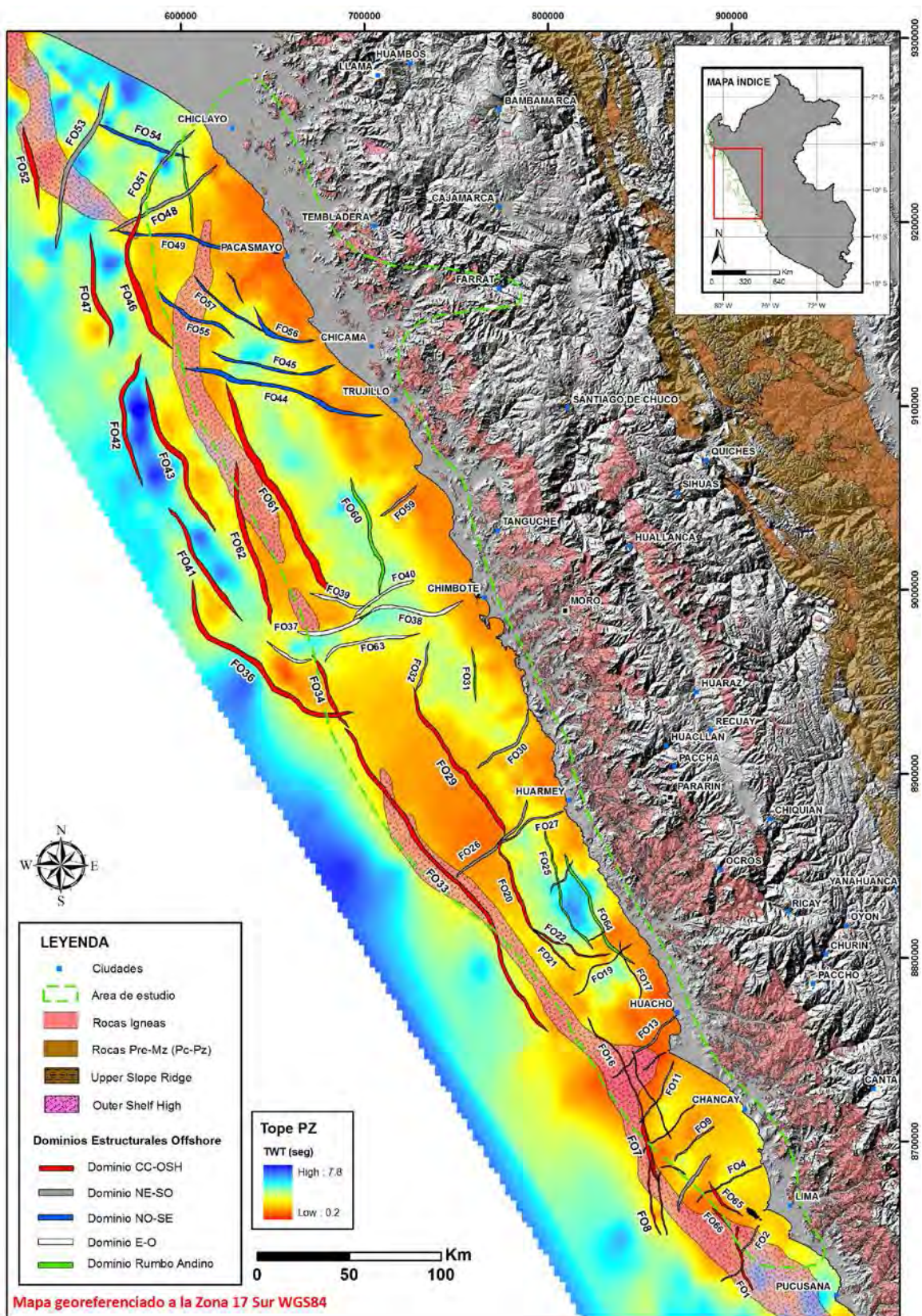


Figura 4.4. Mapa de contornos estructurales del horizonte Tope del Paleozoico en tiempo, con los principales dominios estructurales offshore.

Dominio Estructural NO–SE

Sobre la Zona Norte, entre las latitudes de Chiclayo y Trujillo, comprende ocho (8) fallas que parecen guardar relación con el Dominio de la Deflexión de Huancabamba.

Dominio Estructural de Rumbo Andino

Comprende seis (6) fallas, las cuales son fallas de intracuenca que afectan directamente a los depocentros. Sobre la Zona Norte, a la latitud de Chiclayo, se tiene a FO50 que afecta a la Base del Albiano. Sobre la Zona Centro, entre las latitudes de Puerto Morín y Casma, comprende las fallas FO31 y FO60; que afectan a la Base del Albiano. Sobre la Zona Sur, entre las latitudes de Huarmey y Huacho, comprende las fallas FO17, FO25 y FO64. FO17 y FO25 afectan al Tope del Paleozoico; en tanto que FO64 afecta solo a la Base del Albiano.

Dominio Estructural E–O

Comprende seis (6) fallas; las cuales actúan como fallas de transferencia? que afectan al Alto Cordillera de la Costa – Outer Shelf High y se extienden hacia la Cuenca Salaverry segmentando el depocentro principal (FO35, FO37, FO38, FO39, FO40 y FO63).

4.1.2 Zonas de Plegamientos

Basado en la cartografía (INGEMMET) y el reconocimiento geológico de campo (presente investigación); se ha podido diferenciar, entre Supe y Chimbote, cinco zonas de plegamientos dentro del área de estudio (Figura 4.5). Los ejes de los pliegues poseen preferentemente direcciones NO–SE y NNO–SSE (rumbo andino). Este estilo de deformación afecta a las rocas que conforman la secuencia volcano-sedimentaria del Gpo. Casma.

Entre Caleta Tortuga y Playa La Grama, se tienen ejes de pliegues con rumbo promedio N 40° O y longitudes que varían entre 1 y 4 Km. La dirección de los ejes y algunos diagramas de esfuerzos sugieren una compresión N 50° E. Entre Playa Grande y Culebras, destacan ejes de pliegues con rumbo promedio N 25° O y longitudes que varían entre 1 y 3 Km.; lo cual indicaría una compresión N 75° E.

Entre Huarmey y La Zorra, se tienen ejes de pliegues con rumbo N 30° a 40° O y longitudes que varían entre 1 y 6 Km. La dirección de los ejes y algunos diagramas de esfuerzos permiten interpretar una compresión N 50° a 60° E. Las 3 zonas antes mencionadas afectan a facies volcano-sedimentarias de la Fm. La Zorra.

Entre Punta Gramadal y Bermejo, se evidencian 2 grupos de pliegues; el grupo norte tiene ejes de pliegues con dirección N 30° a 40° E, longitudes que varían entre 1 y 5 Km., y afectan a la Fm. La Zorra. En tanto que en el grupo sur, conformado por una menor cantidad; destacan ejes de pliegues con dirección N 30° a 40° O, con longitudes que varían de 2 a 6 Km., y afectan a facies volcano-sedimentarias hacia el tope del Gpo. Casma (Romero, 2007).

A 25 Km. al Este de la ciudad de Supe, se tienen pliegues con direcciones preferentes N 5° O y N 30° a 40° O, con longitudes que varían de 300 m. a 6 Km., y afectan a rocas del Gpo. Casma. La dirección dominante de los ejes indicaría una compresión N 50° a 60° E; relacionada con la Fase Peruana (85 Ma – 75 Ma). Por otro lado Cobbing (1981) indica que los pliegues que afectan al Gpo. Casma están cortados e intruidos por rocas del Batolito Costero, de edad Albiano – Oligoceno (105 Ma – 30 Ma), lo cual implicaría que fueron deformados después de un breve intervalo de su formación y

posteriormente se emplazaron los intrusivos. Cabe mencionar que fuera del área de estudio y sobre la Cordillera Occidental se expone imponente una amplia zona de plegamientos que afectan a las Secuencias Cretácicas, la cual no ha sido considerada en el presente estudio.

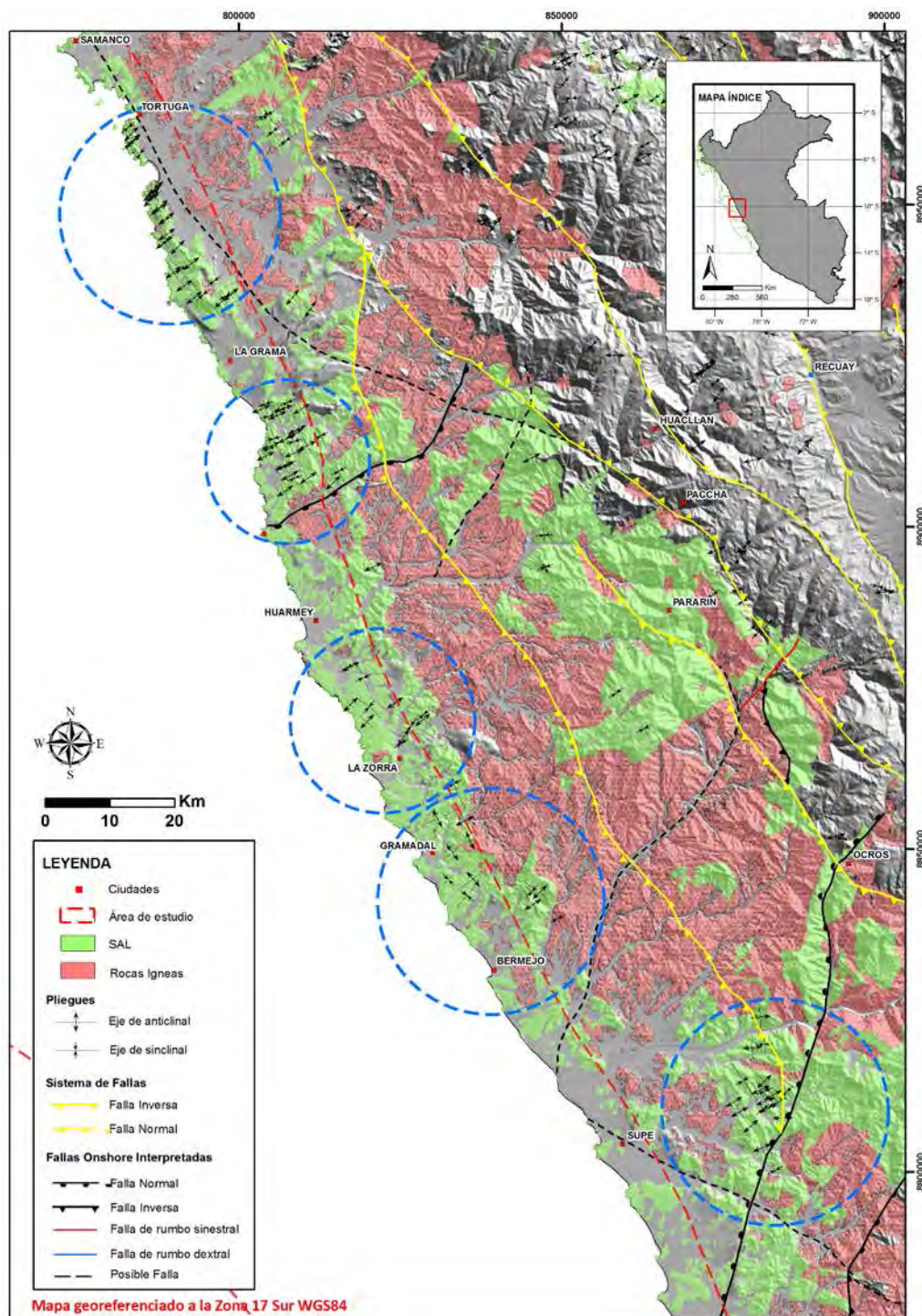


Figura 4.5. Zonas de plegamiento diferenciadas a lo largo de Franja Costera y Estribaciones del área de estudio.

4.1.3 Posibles Estructuras Volcánicas

Posibles paleocentros volcánicos han sido reconocidos, a lo largo de la Franja Costera y Estribaciones Occidentales entre Chiclayo y Huacho, a manera de geoformas cónicas que evidencian en algunos casos un cambio brusco en la geomorfología y topografía de su área circundante (Figura 4.6).

Sobre la zona norte, entre Chiclayo y Zaña, se han reconocido 7 paleocentros volcánicos asociados a la depositación de rocas volcánicas de la Fm. Oyotun, de edad Jurásico medio. Dichos alimentadores volcánicos poseen forma semicircular, alargados preferentemente hacia el N – NNO y con el eje mayor entre 4 y 16 Km.

La presencia de las fallas F37, F38, F43 y F44 sugieren un desplazamiento normal con componente de rumbo durante el vulcanismo–magmatismo.

Así mismo entre Pacasmayo y Trujillo se han reconocido 5 paleocentros volcánicos asociados a la intrusión del Batolito Costero, datado entre 24 Ma y 43 Ma (Eoceno – Oligoceno). Estas geoformas poseen forma semicircular, alargados preferentemente en dirección N – NE y con eje mayor entre 6 y 23 Km.

Sobre la zona Centro–Sur, entre Puerto Morín y Huacho, se han reconocido 19 paleocentros volcánicos asociados a la depositación de rocas volcánicas de edad Albiano-Cenomaniano, pertenecientes al Gpo. Casma. Estas estructuras volcánicas tienen forma ovalada, alargadas preferentemente hacia NNO – N y en menor proporción hacia el NE – NNE; y con eje mayor que varía entre 6 y 18 Km. Las fallas normales y de rumbo, que afectan a las mencionadas morfoestructuras, sugieren un comportamiento extensional durante el vulcanismo–magmatismo.

Las diferentes estructuras volcánicas interpretadas, a través del cartografiado digital de imágenes satelitales (Google Earth), están conformadas por rocas Jurásicas y Cretácicas que poseen *trends* depositacionales con influencia hacia offshore, lo cual relacionado con las anomalías gravimétricas y magnetométricas (Fugro, 1993) sugieren su extensión e influencia sobre la zona más oriental del subsuelo de la Plataforma Continental (Figura 4.6). Acorde con esto Venturo (2008) expone líneas sísmicas offshore donde se evidencian posibles centros volcánicos Jurásicos y Cretácicos.

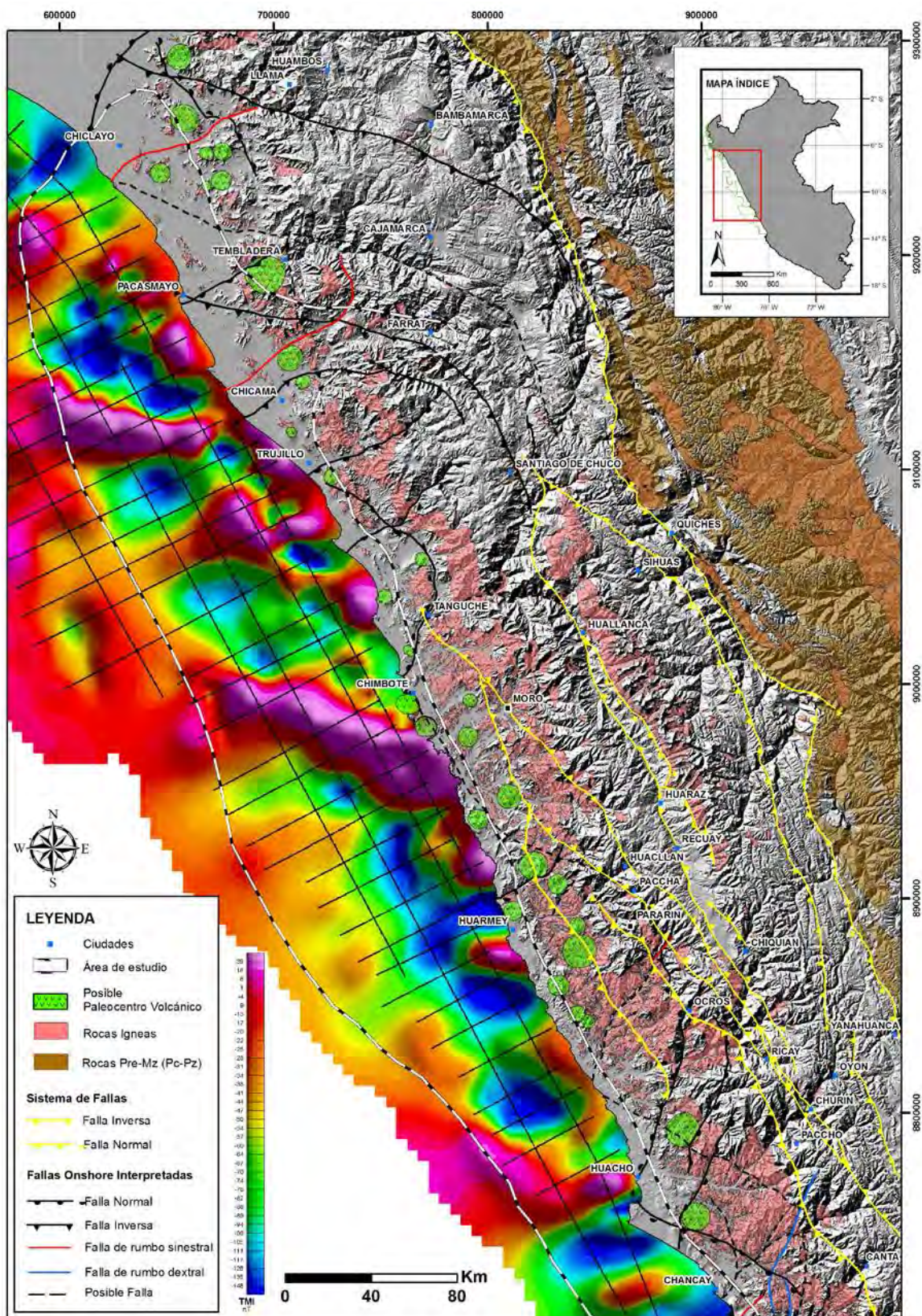


Figura 4.6. Mapa de intensidad magnética total en offshore y posibles paleocentros volcánicos a lo largo de la Franja Costera y Estribaciones Occidentales entre Chiclayo y Huacho.

4.2 SECCIONES ESTRUCTURALES OFFSHORE – ONSHORE

Las secciones estructurales offshore–onshore se han elaborado con el objetivo de reconocer el contexto estructural del subsuelo e inferir la influencia estructural en la distribución de las Secuencias Cretácicas. Cada sección está compuesta por una línea sísmica offshore y una sección geológica onshore.

Cabe mencionar que las secciones sísmicas fueron estudiadas en el apartado 3.4 con mayor énfasis en la secuencia estratigráfica; en tanto que en el presente apartado se incidirá en el enfoque estructural. Así mismo las secciones geológicas onshore (escala 1: 100,000) tienen como objetivo proyectar en subsuelo las relaciones estratigráficas y comportamiento estructural reconocidos en superficie; a través del trabajo de campo y la cartografía digital.

4.2.1 Sección Estructural Pimentel (93-30)

En offshore está representada por la sección sísmica 93-30 que posee dirección NE-SO, pasa al Sur del pozo Lobos 1-X (Repsol, 1999b) y también pasa por el pozo SM1-1X (Savia, 2009); atravesando la Cuenca Trujillo y la Cuenca Sechura (Figura 4.7). A lo largo de la sección sísmica se evidencian las Secuencias Pre-Albiano y Post-Ki definidas en el apartado 3.4.

Hacia el Oeste las Secuencias Cretácicas se ven truncadas por fallamiento normal con buzamiento Este que controla al Upper Slope Ridge y sobre la Cuenca Trujillo (shotpoints 1500 - 2700) su espesor está controlado por el fallamiento normal que evidencia reactivación. Entre los shotpoints 2700–2900 el Outer Shelf High es controlado por fallamiento normal con buzamiento Oeste, que influencia la diferencia de espesor preservado en cada cuenca.

Sobre la Cuenca Sechura las Secuencias Cretácicas poseen mayor continuidad lateral y terminan en onlap sobre el flanco Oeste del intrusivo San Miguel (Savia, 2009); en tanto que hacia el Este del mismo, se evidencian como reflectores continuos y sugieren un espesor importante sobre la actual línea de costa.

Sobre onshore, en los alrededores de Chiclayo solo se evidencia la Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Goyllarisquizga) posiblemente debido a la erosión. En tanto que hacia el Este la intrusión del Batolito Costero, datado en 53 Ma (Eoceno / Stewart et al., 1974), y el fallamiento normal condicionan la continuidad lateral de la Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Goyllarisquizga), la Secuencia Albiana (Fms. Inca–Chulec–Pariatambo) y la Secuencia del Cretácico Superior (Gpos. Pulluicana–Quilquiñan).

Así mismo sobre el extremo Este las Secuencias Cretácicas pierden exposición al ser sobreyacidas por el Volcánico Cenozoico a manera de sello vertical.

4.2.2 Sección Estructural Puerto Morín (93-45)

En offshore está representada por la sección sísmica 93–45 que posee dirección ENE–OSO, atraviesa la Cuenca Trujillo y la Cuenca Salaverry; y pasa aproximadamente a 4 y 2 Km. al Norte de los pozos Delfín 1-X y Ballena 1-X respectivamente (Figura 4.8).

Fallas normales controlan el basamento Pre-Mesozoico y configuran altos y bajos estructurales, donde el Upper Slope Ridge se evidencia hacia el extremo Oeste (shotpoints 1100–1350) y está controlado por fallas normales de gran salto vertical con buzamiento Este; en tanto que entre los shotpoints 2200–2450 el Outer Shelf High está controlado de manera similar, por fallas extensionales, y actúa como un alto estructural que limita las cuencas antes mencionadas.

El límite de depósito de las Secuencias Cretácicas en la Cuenca Trujillo se trunca contra falla, hacia el Oeste contra el Upper Slope Ridge y hacia el Este contra el Outer Shelf High (a manera de sello lateral); y poseen un espesor importante que sugiere la presencia de la Secuencia del Cretácico Inferior (facies más distales del Gpo. Goyllarisquizga), la Secuencia Albiana (facies más distales del Gpo. Casma) y la Secuencia del Cretácico Superior (facies del Campaniano – Maastrichtiano, pozo Lobos 1-X).

Por otro lado sobre la Cuenca Salaverry la configuración del basamento Pre-Mesozoico controla el espesor de las Secuencias Cretácicas y su continuidad lateral. De esta manera el límite de depósito de la Secuencia del Cretácico Inferior (posible confluencia entre el Gpo. Goyllarisquizga y el Gpo. Morro Solar) y la Secuencia Albiana (Gpo. Casma) se trunca contra falla hacia el Outer Shelf High (a manera de sello lateral); así mismo el espesor de la Secuencia Albiana está controlado por la discordancia a la Base del Cenozoico.

Sobre el centro de la Cuenca Mesozoica Salaverry (shotpoints 2600 - 4300), el espesor preservado de la Secuencia del Cretácico Inferior y la Secuencia Albiana está controlado por fallamiento extensional.

Por otro lado hacia el extremo Este de la sección (shotpoints 4300 – 4700) las Secuencias Cretácicas pierden espesor a manera de onlap sobre el relieve Pre-Mesozoico.

Sobre onshore, en los alrededores de Puerto Morin a lo largo de la Franja Costera y Estribaciones, el espesor de la Secuencia Albiana (Gpo. Casma) está controlada por la erosión producto de la intrusión del Batolito Costero, que aparentemente está controlada por fallas normales.

Sobre la zona central, entrando a la Cordillera, el Volcánico Cenozoico sobreyace a la Secuencia Albiana (a manera de sello vertical) y la deja sin exposición; así mismo al Este de Santiago de Chuco se evidencia la Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Goyllarisquiza) y rocas Jurásicas que afloran debido a la acción de fallas inversas.

4.2.3 Sección Estructural Puerto Supe (93-64)

En offshore está representada por la sección sísmica 93–64, posee dirección NE–SO; y pasa aproximadamente a 5.6 y 5.4 Km al Norte de los pozos ODP–680 y ODP–681 respectivamente (Figura 4.9).

Fallas normales afectan al basamento Pre–Mesozoico, generando un bajo estructural donde se evidencia un importante espesor de las Secuencias Pre–Albiano y las Secuencias Post–Ki descritas en el apartado 3.4. Dichas fallas también afectan a las Secuencias Cretácicas.

El Outer Shelf High se expone entre los shotpoints 1200–1400 y está controlado por fallamiento normal con buzamiento Este.

La Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Morro Solar) evidencia límite de depósito en onlap sobre el Outer Shelf High (shotpoint 1500), en tanto que hacia el Este su espesor y continuidad lateral están controlados por fallas normales con buzamiento Oeste.

Por otro lado la Secuencia Albiana (Gpo. Casma) sobreyace al Outer Shelf High hacia el extremo Oeste de la sección y su espesor está controlado por la discordancia erosiva a la Base del Cenozoico. Hacia el extremo Este de la sección se reconoce el mismo comportamiento. Fallas de crecimiento estarían afectando el espesor de las Secuencias Cretácicas hacia el centro del depocentro.

Sobre onshore, en los alrededores de Puerto Supe y sobre la franja costera, la Secuencia Albiana (Gpo. Casma) posee afloramientos casi continuos afectados por erosión producto de la intrusión de un cuerpo intrusivo datado en 40 Ma (Eoceno - Lutetiano) y perteneciente al Batolito Costero.

En tanto que hacia el Este la continuidad lateral de la Secuencia Albiana está afectada por un intrusivo de 26 Km de longitud; que está controlado por fallas normales sobre sus extremos y posee una edad entre 24 Ma y 37 Ma (Eoceno superior – Oligoceno).

Es posible que la Secuencia del Cretácico Inferior (Gpo. Morro Solar) infrayazga a la Secuencia Albiana y también se encuentre afectada por los intrusivos.

4.3 CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE LA PLATAFORMA CONTIENTAL Y COSTA

El análisis estructural integrado de la Plataforma, Costa, Estribaciones y Cordillera ha permitido reconocer 5 dominios estructurales onshore–offshore: Dominio NE–SO, Dominio Rumbo Andino, Dominio Deflexión de Huancabamba, Dominio NO–SE y Dominio E–O. El comportamiento tectónico y la interacción entre los diferentes dominios a lo largo de la historia geológica afecta principalmente al Basamento Pre–Mesozoico y a la Secuencia Mesozoica, y ha permitido configurar Altos y Bajos Estructurales; generando cuencas, zonas de aporte y límites de cuenca; los cuales condicionan la continuidad lateral de los depósitos y tienen influencia sobre las facies desarrolladas. Acorde con lo antes descrito los principales Altos y Cuencas que han favorecido y controlado la depositación de las Secuencias Cretácicas son (Figs. 4.10 y 4.11):

Alto de Marañón (AM)

Complejo de rocas de edad Precámbrica–Paleozoica, que actúa como límite de la Cuenca Peruana Occidental y Oriental. Su borde occidental está controlado por el Sistema de Fallas Marañón.

Alto Paccho – Canta – Yauyos (APCY)

Expone rocas Jurasicas de la Fm. Chicama y piroclastos de la Fm. Oyotun, en Churín y Aija respectivamente. El Sistema de Fallas Ocos – Canta – Yauyos y el Sistema de Fallas Tapacocha controlan su flanco occidental, en tanto que el Sistema de Fallas Huacllan – Churín – San Mateo controla su flanco oriental. Actúa como límite entre las Cuencas Goyllarisquizga y Morro Solar; lo cual fue interpretado por Cobbing (1981), sostenido por Cardozo (1990) y propuesto con mayores evidencias por Romero (2008 y 2010).

Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High (ACC-OSH)

Corresponde a una cadena discontinua de rocas de edad Precámbrica–Paleozoica atravesadas por los pozos Delfín 1-X, Ballena 1-X y Morsa 1-X. Tanto su borde occidental como, el oriental están controlados por el Dominio Estructural Cordillera de la Costa – Outer

Shelf High y posee una menor influencia del Dominio E–O hacia la parte central de la Cuenca. Actúa como límite entre la Cuenca Salaverry y las Cuencas Trujillo y Lima.

Cuenca Goyllarisquizga – Inca-Chulec-Pariatambo (CGICHPt)

Se encuentra limitada al Este por el Alto de Marañón y hacia el Oeste por el Alto estructural Paccho – Canta – Yauyos. Su borde oriental posee una marcada influencia del Sistema de Fallas Marañón y el Sistema de Fallas Chonta desde Jaén–Bambamarca por el Norte hasta Oyón–Santa Rosa por el Sur; en tanto que su borde occidental está controlado por el Sistema de Fallas Tapacocha y el Sistema de Fallas Huacllan – Churin – San Mateo, desde Tanguche por el Norte hasta Canta – San Mateo por el Sur.

Sobre la Zona Norte, entre Pacasmayo y Chiclayo, su dominio estructural marca una clara tendencia hacia offshore. Cabe mencionar que las Fms Inca–Chulec–Pariatambo poseen el mismo dominio geológico–estructural y descansan indistintamente sobre diferentes unidades precedentes (Romero, 2008; pp 3).

Cuenca Casma – Morro Solar (CCMS)

Se encuentra limitada al Este por el Alto estructural Paccho – Canta – Yauyos, en tanto hacia el Oeste se extiende costa afuera sobre la Cuenca Mesozoica Salaverry (aún sin evidencias mediante perforación de pozos) y se trunca contra el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High. Su borde oriental está controlado por el Sistema de Fallas Tapacocha y el Sistema de Fallas Ocros – Canta – Yauyos y se extiende desde Yauyos por el Sur, pasando por Canta – Churin –Tapacocha – Tanguche – Juyacul, hasta Trujillo por el Norte. En tanto su borde occidental está controlado por el Dominio Estructural Cordillera de la Costa – Outer Shelf High.

Así mismo dentro de este contexto regional; la costa (onshore) y plataforma (offshore), que conforman la Cuenca Mesozoica Salaverry (área de estudio), se encuentra configurada a manera de altos y bajos estructurales, entre los cuales destacan:

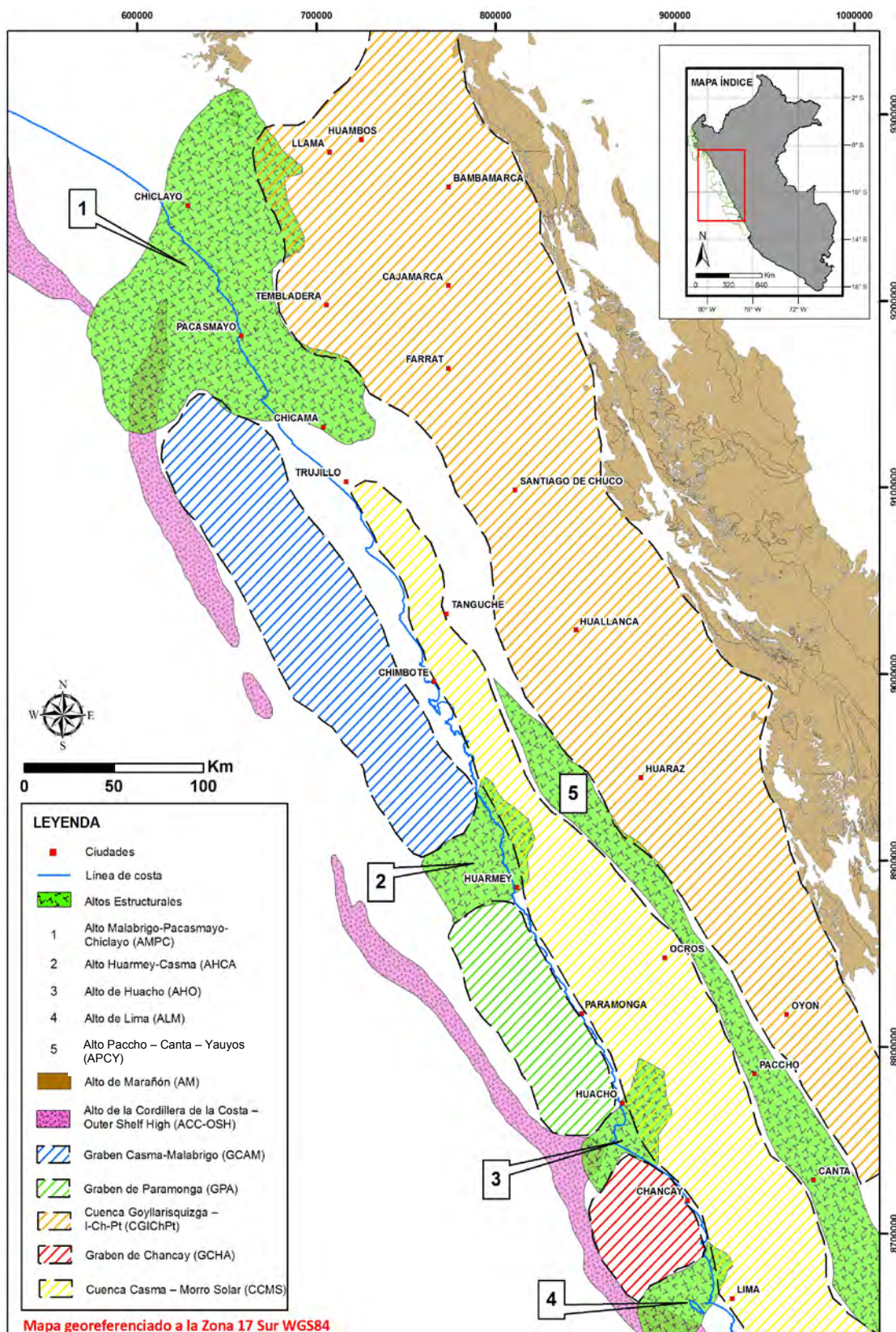


Figura 4.10. Mapa esquemático que muestra las principales Cuencas onshore, Altos Estructurales y Grábenes offshore, definidos en el presente estudio sobre la Plataforma Continental, Costa, Estribaciones Occidentales y Cordillera.

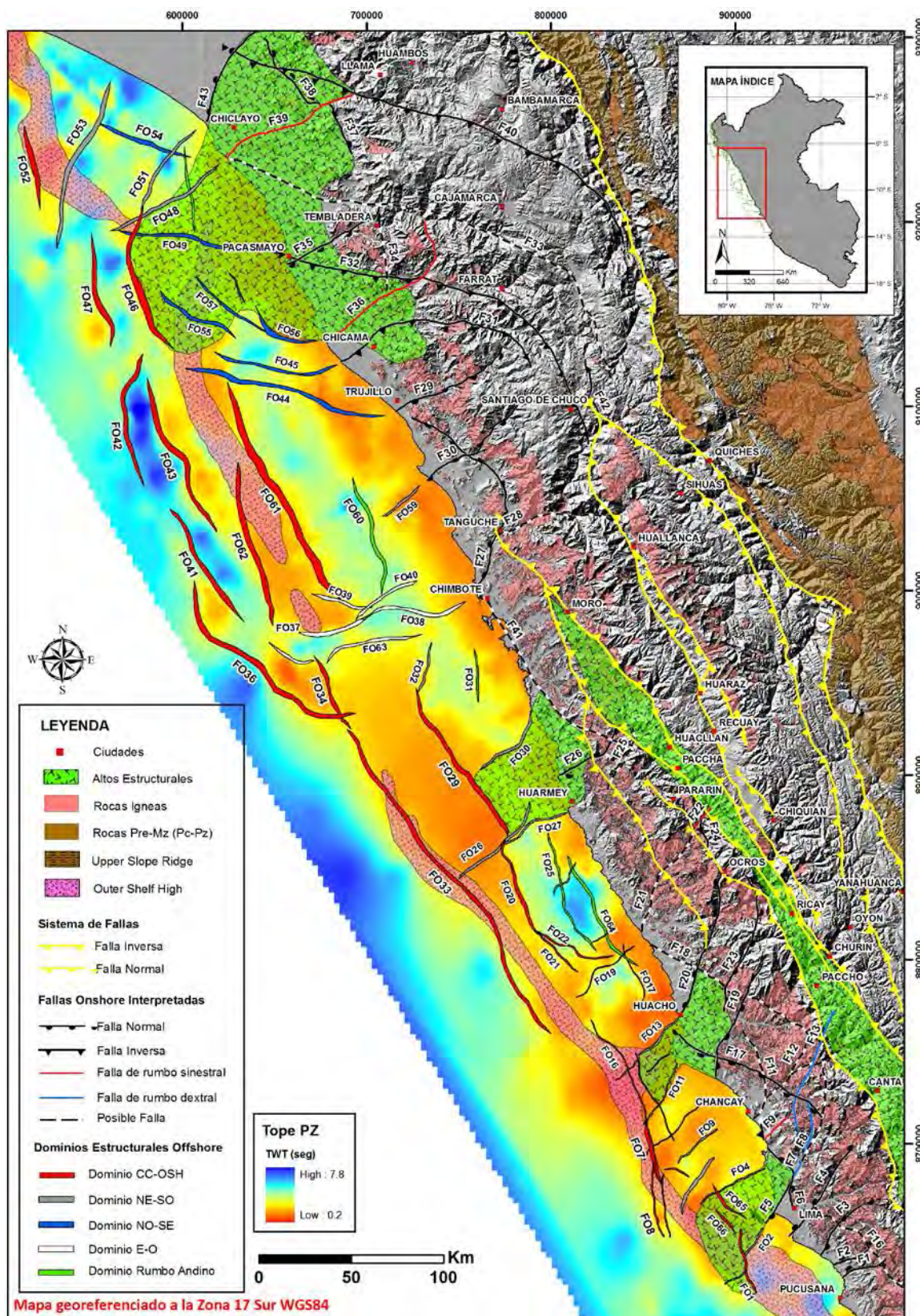


Figura 4.11. Mapa Estructural integrado de la Plataforma, Costa, Estribaciones y Cordillera del Perú Centro-Norte: en offshore corresponde al mapa de contornos estructural al Tope del Paleozoico en tiempo y en onshore, a las principales estructuras regionales.

Alto Malabrigo – Pacasmayo – Chiclayo (AMPC)

Controlado al Norte por F43, FO51 y FO48, al Sur por F31, FO55, FO56 y FO57; en tanto que hacia el Oeste está controlado por FO46.

Alto Huarmey – Casma (AHCA)

Controlado al Norte por FO30, al Sur por FO26 y FO27, al Oeste por FO29; y al Este por F41 y el Sistema de Fallas Ocros – Canta – Yauyos.

Alto de Huacho (AHO)

Controlado al Norte por F20 y FO13, al Sur por FO11 y F19, al Este por F18 y F23; y al Oeste por FO12.

Alto de Lima (ALM)

Controlado al Norte por FO4, al Este y Sur por F5, FO2 y FO5; en tanto que hacia el Oeste posee influencia de FO1, FO65 y FO66.

Graben Casma – Malabrigo (GCAM)

Limitado al Norte por el Alto Malabrigo – Pacasmayo – Chiclayo, al Sur por el Alto Huarmey – Casma y al Oeste por el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High.

Graben Paramonga-Barranca (GPB)

Limitado al Norte por el Alto Huarmey – Casma, al Sur por el Alto de Huacho y al Oeste por el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High.

Graben de Chancay (GCHA)

Limitado al Norte por el Alto de Huacho, al Sur por el Alto de Lima y al Oeste por el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High.

CAPÍTULO V

DISTRIBUCIÓN DE LAS SECUENCIAS CRETÁICAS

En el presente capítulo se propone la distribución *onshore-offshore*, en el *present day*, de los remanentes de los Depósitos Cretácicos.

Para lo cual, en el Capítulo III se han estudiado, reconocido (en campo), y diferenciado los Depósitos Cretácicos en 3 secuencias de 2° orden; y posteriormente en el Capítulo IV se ha obtenido mayor entendimiento de cómo las estructuras regionales parametrizaron su deposición por medio de fallas ó altos estructurales. El estudio geológico onshore (distribución geográfica y *trends* estructurales) ha sido de vital importancia, para así tener mayores elementos de juicio en la interpretación *offshore* de la distribución, pues en el área de estudio solo se ha trabajado con sísmica 2D, gravimetría y magnetometría.

De esta manera se han integrado todos los datos geológicos, interpretación sísmica y datos geopotenciales; con el fin de proponer un modelo para la distribución ***onshore-offshore*** de cada Secuencia Cretácica. A continuación se explica la metodología utilizada en la interpretación de la distribución actual de los remanentes de las Secuencias Cretácicas y se describen los modelos obtenidos.

5.1 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN

Se ha partido de la definición de algunos términos tales como: “distribución” que es la ocurrencia de una determinada unidad estratigráfica en un espacio geográfico, así mismo la “ocurrencia” posee una extensión, la “extensión” posee límites; y dichos “límites” poseen control predominantemente estructural sobre lo estratigráfico (Figura 5.1).

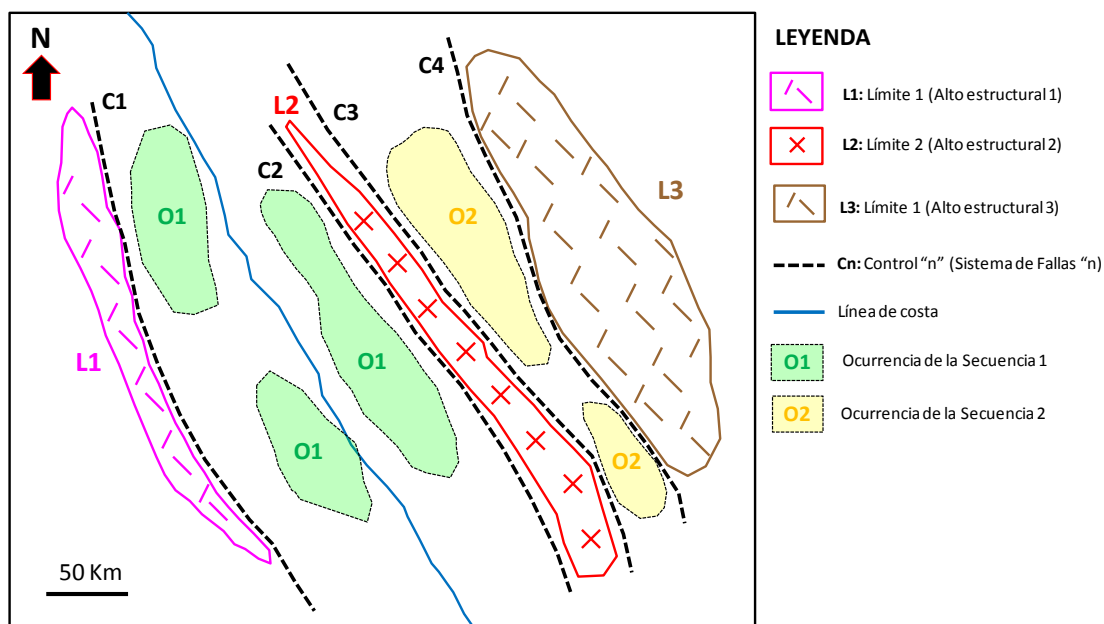


Figura 5.1. Esquema gráfico de los conceptos involucrados en la distribución geográfica de una determinada unidad estratigráfica.

Acorde con lo antes mencionado el control estructural de las Secuencias Cretácicas posee fuerte influencia de los “Altos estructurales”, que condicionaron su depositación; y a su vez dichas morfoestructuras están controladas por sistemas de fallas; por lo cual se recalca la importancia del estudio de los capítulos precedentes.

Por consiguiente se ha definido como distribución: las zonas, en el *present day*, con mayor probabilidad de encontrar remanentes de las Secuencias Cretácicas, con su respectivo valor de espesor (en pies).

Con el *framework* entendido se procedió a recopilar toda información de “ocurrencias” de las Secuencias Cretácicas en estudio. De esta manera para *onshore* se ha propuesto la distribución a través de mapas isópacos (Acápite 5.1.1); en tanto para *offshore* se han propuesto mapas de distribución e isópacos, generados a partir de las líneas sísmicas 2D y datos geopotenciales (Acápite 5.1.2).

5.1.1 Isópacos Onshore

Para su elaboración se recopilaban columnas estratigráficas medidas por diferentes autores, en diferentes años y las cuales persiguieron diferentes objetivos. La mayor parte de datos corresponden a Benavides (1956), llegando a 21 las columnas medidas. Por otro lado la Industria Petrolera a través de SAVIA PERU S.A., Petroperu, I.P.Co., Consultora de Petróleo y otras empresas; ha contribuido con valiosos datos de campo.

Durante la fase inicial de elaboración, se pudo reconocer que algunos puntos de control se encontraban fuera de contexto con respecto a los circundantes, por lo que procedimos a rotularlos como “fallados” sin eliminarlos de nuestra base de datos. Haciendo válido este criterio los contornos serían reconstruidos (líneas punteadas), para dichos casos puntuales. Los únicos valores que se han corregido, haciendo uso de la tendencia regional, son los que se han interpretado de la Carta Geológica Nacional (INGEMMET).

A continuación se procede con la descripción de la distribución onshore obtenida para cada Secuencia Cretácica.

Secuencia del Cretácico Inferior – SCI (Figura 5.2)

Los depósitos del Gpo. Goyllarisquiza tienen un notable desarrollo desde Jaén – Bambamarca por el Norte, pasando por Cajamarca – Farrat – Santiago de Chuco – Sihuas, hasta Huaraz y Chiquian por el Sur; en tanto que desde Chiquian por el Norte pasando por Oyón y llegando hasta Canta por el Sur evidencian un menor desarrollo. Dichos depósitos poseen como límite Este el Alto de Marañón (controlado por el Sistema de Fallas Marañón), en tanto que el Alto Paccho – Canta – Yauyos actúa como límite occidental (con marcada influencia del Sistema de Fallas Tapacocha, Sistema de Fallas Ocros – Canta – Yauyos y el Sistema de Fallas Huacllan – Churin – San Mateo).

Los isópacos manifiestan una tendencia regional de rumbo andino NO-SE con mayores espesores (2000'-6400') entre Farrat y Cajamarca mientras que hacia el Sur de Santiago de Chuco los isópacos son más elongados con espesores que no sobrepasan los 3000'.

Por otro lado los depósitos del Gpo. Morro Solar se evidencian solo en los alrededores del departamento de Lima, sobre la Franja Costera y las Etribaciones Occidentales, desde Asia por el Sur hasta Serpentín – Pasamayo por el Norte; poseen como límite Este la cobertura del Gpo. Casma (controlado por el Sistema de Fallas Huacllan – Churin – San Mateo y el Sistema de Fallas Tapacocha) y sus espesores no sobrepasan los 2000' sobre la mencionada área. Sus isópacos son elongados y manifiestan una tendencia regional de rumbo andino paralela a la línea de costa, sobre un área muy restringida.

Secuencia Albiana – SAL (Figura 5.3)

Los depósitos de plataforma, desarrollados en posición de tras-arco hacia el Este del dominio de la Cuenca Casma, pertenecientes a las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo; poseen un amplio desarrollo desde Sihuas por el Sur, pasando por Santiago de Chuco – Farrat – Tembladera – Cajamarca, hasta Bambamarca – Huambos y Jaén por el Norte; en tanto que desde Sihuas por el Norte pasando por Oyón y hasta Canta por el Sur evidencian un menor desarrollo.

Dichos depósitos poseen como límite Este el Alto de Marañón (controlado por el Sistema de Fallas Marañón), en tanto que su límite occidental no se encuentra muy bien definido; debido a la marcada influencia que tuvieron el Sistema de Fallas Tapacocha y el Sistema de Fallas Huaraz – Recuay en la erosión de sus afloramientos.

Los isópacos manifiestan una tendencia regional de rumbo andino NO–SE con mayores espesores (1400' – 2400') entre Farrat, Cajamarca y Bambamarca; mientras que hacia el Sur de Santiago de Chuco los isópacos son más elongados con espesores que no sobrepasan los 1400'.

Por otro lado las facies sedimentarias dentro del Gpo. Casma (Myers, 1980; Guevara, 1980; y Soler, 1991) y las facies Pamplona – Atocongo definidas como su equivalente lateral; poseen una distribución regional desde Pucusana por el Sur pasando por Lima – Chancay – Huacho – Supe y llegando hasta Huarmey y Chimbote por el Norte con espesores que alcanzan un máximo de 1600' en Huarmey.

Secuencia del Cretácico Superior – SCS (Figura 5.4)

Los depósitos de plataforma, pertenecientes a los Gpos. Pulluicana – Quilquiñan, se distribuyen en la zona Norte del área de estudio con predominancia de afloramientos en la Cordillera Occidental y presencia limitada sobre la Franja Costera; se encuentran restringidos hacia el Este por el Alto de Marañón (controlado por el Sistema de Fallas Marañón y el Sistema de Fallas Chonta), mientras que hacia el Oeste posee la influencia del Alto Malabrigo–Pacasmayo–Chiclayo que expone rocas Jurásicas pertenecientes al Volcánico Oytún.

Su mejor desarrollo se encuentra entre Cajamarca, Bambamarca y Huambos con espesores que varían entre 2800' y 3600', hacia los extremos Norte y Sur los isópacos son más elongados y disminuyen en espesor; en tanto que hacia el Oeste sus afloramientos son aislados con espesores entre 400' y 800'.

5.1.2 Interpretación de las Secuencias en Offshore

Para el estudio de la distribución en *offshore* se utilizaron líneas sísmicas 2D (16), y datos geopotenciales que cubren el área de estudio (Fugro, 1993). Los horizontes sísmicos utilizados fueron: el Tope del Paleozoico (en adelante TPz), la Base del Albiano (en adelante BAib) y la Base del Cenozoico (en adelante BCz), los cuales fueron definidos anteriormente (Acápite 3.3).

De esta manera se ha tomado como punto de partida la interpretación de líneas sísmicas 2D y, como soporte los datos geopotenciales (gravimetría y magnetometría) para la aplicación de una metodología básica; donde la primera etapa consiste en:

- Interpretar los 3 horizontes sísmicos en las 16 líneas sísmicas 2D (Figura 5.5 A).
- Generar mapas de contornos estructurales en tiempo (twt), para cada horizonte sísmico (Figura 5.5 B).
- Utilizar el mapa de contornos estructurales del Tope del Paleozoico (basamento Pre-Mesozoico) e identificar las posibles zonas de erosión y/o no deposición de las Secuencias Mesozoicas (Figura 5.5 C).
- Reconocer altos gravimétricos en el mapa de anomalías de Bouguer (Figura 5.5 D) y altos magnetométricos en el mapa de intensidad magnética total (Figura 5.5 E), para así interpretar posibles intrusivos y/o morfoestructuras volcánicas que pudieron haber influenciado en la erosión de las Secuencias Mesozoicas producto de su emplazamiento y posterior levantamiento.
- Revisar el mapa estructural *offshore* para reconocer alguna relación entre las fallas y las posibles zonas de erosión (Figura 5.5 F).
- Finalmente se integra la información obtenida en los pasos anteriores generando un mapa de distribución, donde cada polígono correspondería a la zona con mayor probabilidad de encontrar remanentes de las Secuencias Mesozoicas (Figura 5.5 G).

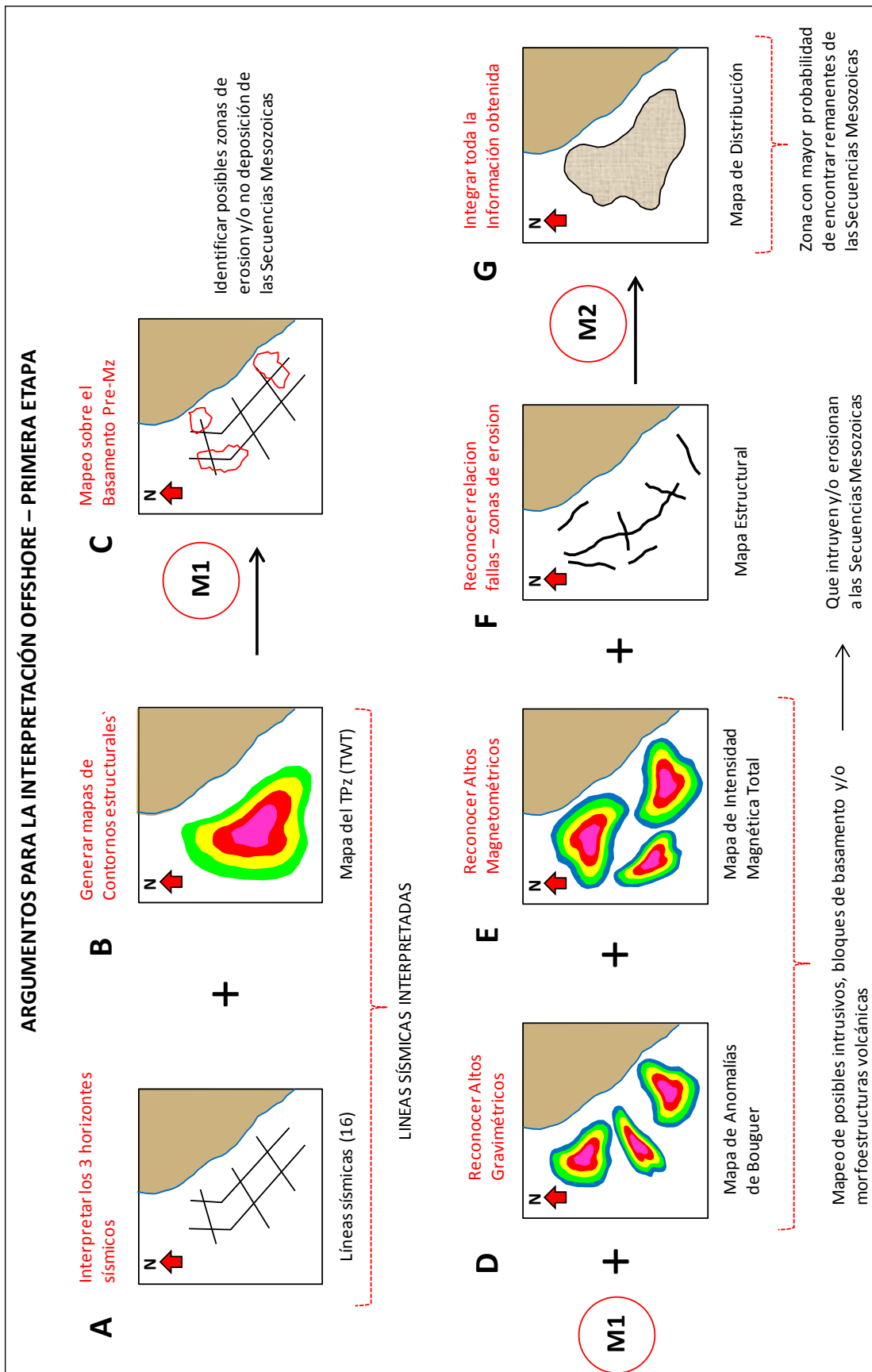


Figura 5.5. Flujo de trabajo utilizado en la interpretación de los polígonos de distribución offshore de las Secuencias.

Cabe resaltar que en la práctica los polígonos de distribución obtenidos pueden variar para cada Secuencia Cretácica en estudio, debido a la tendencia regional que tengan los afloramientos en *onshore* (consultar acápite 5.1.2).

Posteriormente y habiendo concluido con la primera etapa, se procede a:

- Generar 2 mapas isócronos con ayuda de los 3 horizontes sísmicos interpretados (Figura 5.6 y Figura 5.7 A). El primer isócrono corresponde a la Secuencia Pre-Albiano (Figura 5.7 B), en tanto el segundo isócrono corresponde a la Secuencia Post-Ki (Figura 5.7 C).
- Integrar los polígonos de distribución (Figura 5.7 D) con los isócronos (Figura 5.7 E) y generar un mapa de distribución *offshore* para cada secuencia (Figura 5.7 F).
- Integrar el mapa de distribución *offshore* (Figura 5.7 G) con el mapa isópaco onshore (Figura 5.7 H) de cada secuencia y con el mapa estructural *onshore-offshore* (Figura 5.7 I).
- Finalmente se habrá generado la primera aproximación de la distribución *offshore-onshore*, que carece aún de integración geológica y conversión de tiempo a profundidad (Figura 5.7 J); temas que serán analizados en los acápites 5.1.11 y 5.1.1.2.

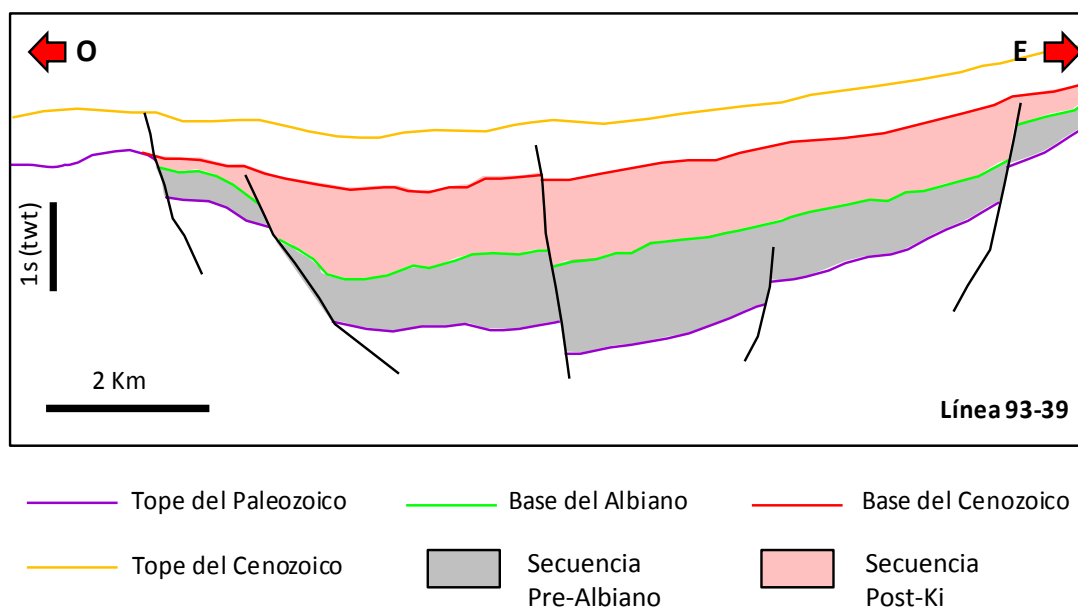


Figura 5.6. Sección sísmica esquemática que muestra las 2 Secuencias estratigráficas generadas a partir de los 3 horizontes sísmicos interpretados en el offshore del área de estudio.

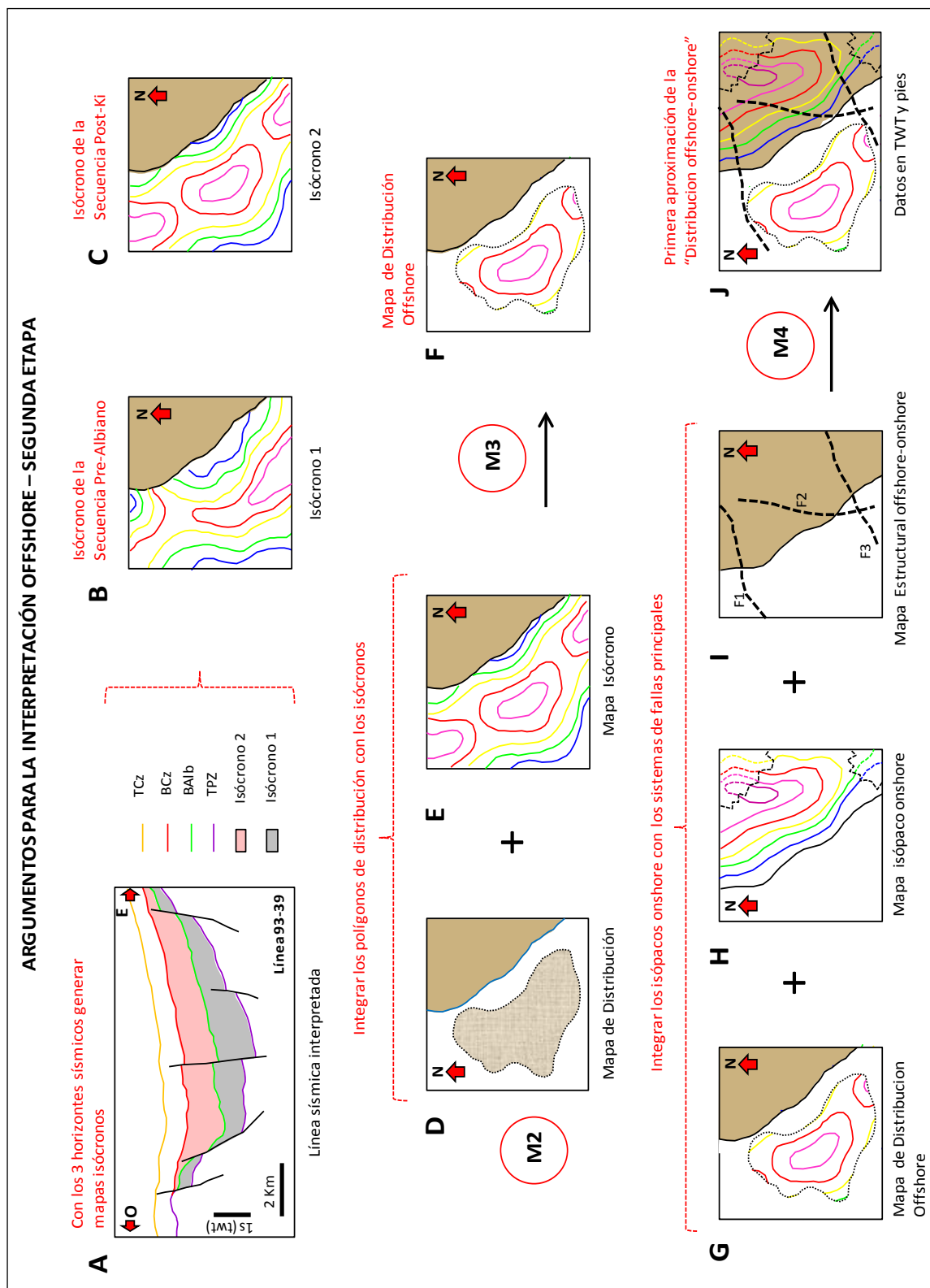


Figura 5.7. Flujo de trabajo utilizado en la generación de mapas isócronos offshore y su respectivo match con los mapas isópacos onshore.

5.1.2.1 Conversión de tiempo a profundidad

Los isócronos offshore, obtenidos a partir de la interpretación de las líneas sísmicas, poseen un valor en tiempo denominado “TWT (*two way time*)”; también conocido como “tiempo doble” debido a que la onda recorre un camino de ida, durante su propagación, incide en la superficie denominada reflector (límite entre 2 materiales con diferente impedancia acústica), parte de la energía se refleja y recorre un camino de regreso hacia los hidrófonos. De esta manera la onda acumula 2 tramos de recorrido y por consiguiente acumula 2 intervalos de tiempo (Figura 5.8).

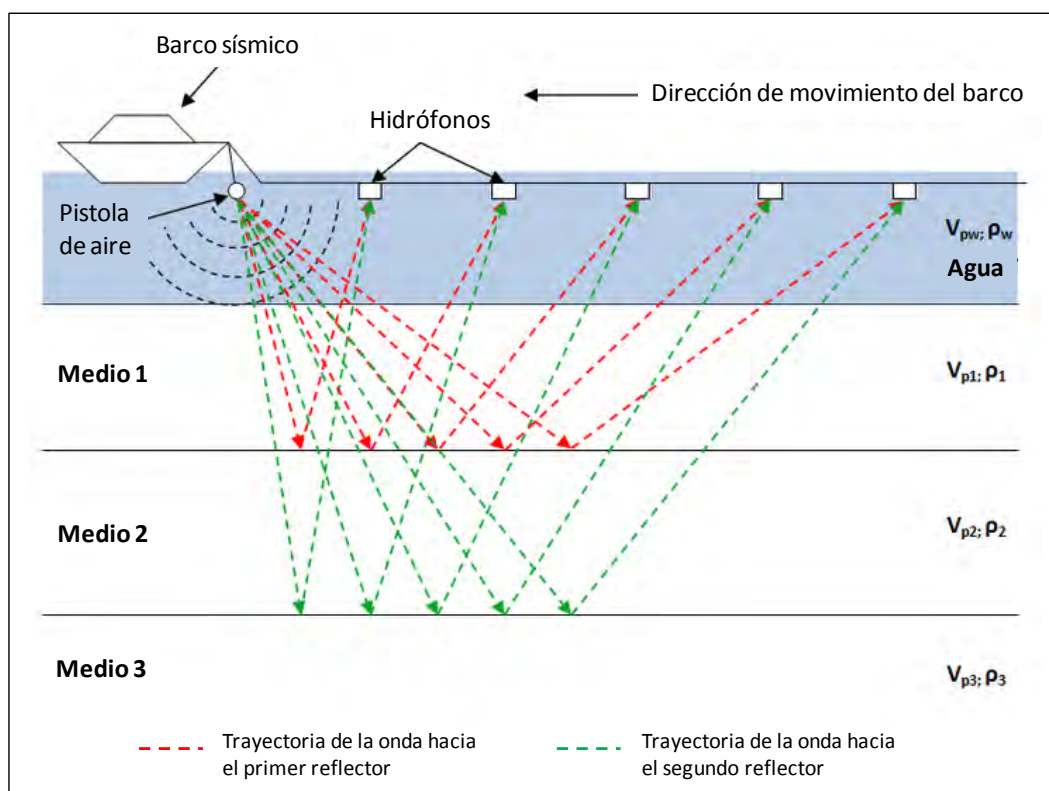


Figura 5.8. Diagrama de adquisición de sísmica marina. Se muestra las trayectorias de la onda, producto de un solo disparo de una pistola de aire, hacia un cable con 5 hidrófonos (Tomado de http://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_seismology).

Dichos isócronos han sido definidos a través de la relación entre el Tope del Paleozoico (TPz), la Base del Albiano (BAIb) y la Base del Cenozoico (BCz):

$$\text{Isocróno 1 (twt)} = \text{TPz (twt)} - \text{BAIb (twt)}$$

$$\text{Isocróno 2 (twt)} = \text{BAIb (twt)} - \text{BCz (twt)}$$

Y donde el Isócrono 1 correspondería a la Secuencia Pre-Albiano, en tanto el Isócrono 2 evidenciaría a la Secuencia Post-Ki (Figura 5.6).

Acorde con lo antes mencionado se revisaron los datos de velocidades registrados en los *check-shots* realizados en los pozos Lobos 1-X y Morsa 1-X (Repsol, 1999b); obteniendo las velocidades interválicas necesarias para convertir los isócronos en isópacos (Figura 5.9).

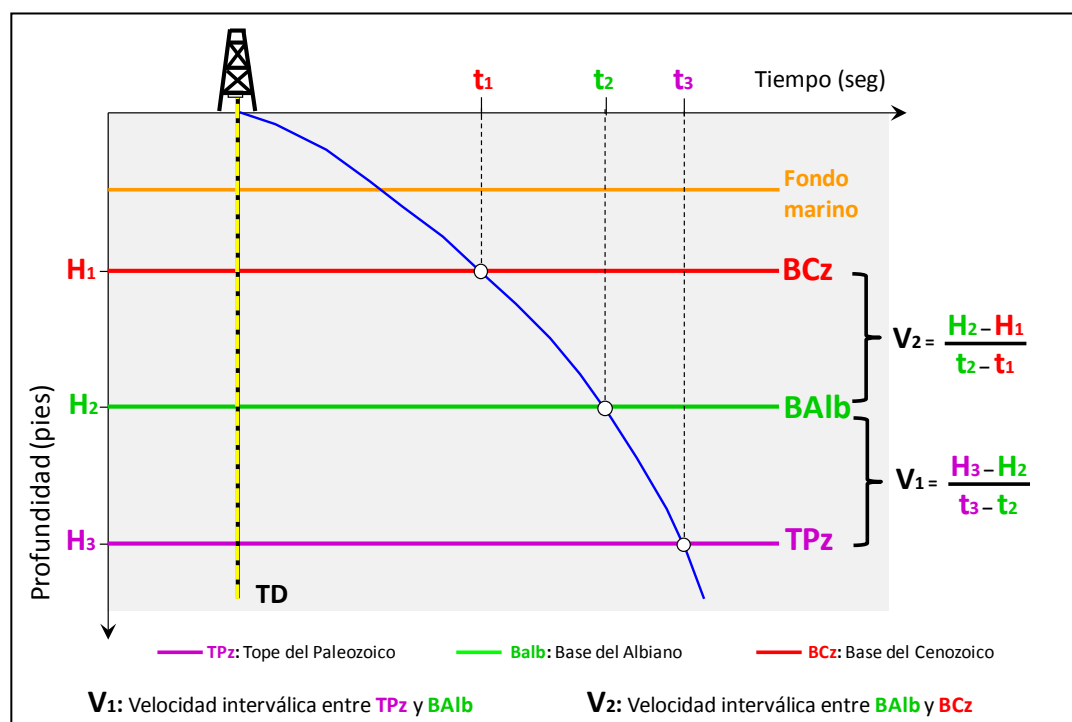


Figura 5.9. Gráfico tiempo–profundidad esquemático, generado a partir de las velocidades y los tiempos de reflexión obtenidos en los check–shot de los pozos Lobos 1-X y Morsa 1-X.

De esta manera para el Isócrono 1 se estimó una velocidad interválica $V_1 = 4100$ pies/seg, mientras que para el Isócrono 2 se consideró una velocidad interválica $V_2 = 3800$ pies/seg.

Cabe resaltar que el tiempo de recorrido de la onda en los *check–shot* es “one way time”, en tanto los isócronos brindan información “two way time”; por lo que la conversión de tiempo a profundidad debe considerar la siguiente relación:

$$\boxed{TWT = \frac{(2) \times (e)}{V}} \longrightarrow \boxed{e = \frac{TWT \times V}{2}}$$

Esto aplicado a la presente investigación brinda:

$$\text{Isópaco 1} = \frac{(\text{Isócrono 1}) \times (V_1)}{2}$$

$$\text{Isópaco 2} = \frac{(\text{Isócrono 2}) \times (V_2)}{2}$$

5.1.2.2 Isópacos Offshore

Con los isópacos obtenidos a partir de la conversión tiempo–profundidad de los isócronos, se ha conseguido el espesor de 2 Secuencias importantes dentro del Mesozoico: la Secuencia Pre-Albiano y la Secuencia Post-Ki. Por lo que es necesario traer a memoria que cada una de las mencionadas Secuencias está conformada por Depósitos Cretácicos y posiblemente también por otras unidades estratigráficas presentes en la Cuenca Mesozoica Salaverry; como lo indica la siguiente tabla:

SECUENCIAS INTERPRETADAS		UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	ESPESOR (m)	ESTADO
SECUENCIAS MESOZOICAS	Secuencia Post-Ki (Albiano-Ks)	Depósitos indiferenciados Ks	400	Solo mención
		Gpos. Pulluicana-Quilquiñan	En estudio	En estudio
		Gpo. Casma	En estudio	En estudio
		Fms. Inca-Chulec-Pariatambo	En estudio	En estudio
		Fms. Pamplona-Atocongo	En estudio	En estudio
	Secuencia Pre-Albiano	Gpo. Goyllarisquizga	En estudio	En estudio
		Gpo. Morro Solar	En estudio	En estudio
		Fm. Chicama	1200	Solo mención
		Gpo. Puente Piedra	1000	Solo mención
		Volcánico Oyotún	1200	Solo mención
		Posible Triásico	1000	Solo mención

Tabla 2. Secuencias presentes en la interpretación sísmica offshore con sus respectivas unidades estratigráficas. Se muestra el posible espesor de las unidades estratigráficas no Cretácicas.

Para obtener los posibles espesores de las unidades estratigráficas no Cretácicas en *offshore*, se ha considerado la tendencia regional que manifiestan sus espesores en *onshore* y se les ha asignado un “espesor promedio mínimo”; asumiendo que existen remanentes de dichos depósitos dentro de la Cuenca Mesozoica Salaverry (Tabla 2).

De esta manera se han obtenido valores de espesor que se pueden restar, según sea el caso, al **Isópaco 1** e **Isópaco 2** para obtener un isópaco *offshore* para cada Secuencia Cretácica en estudio; procedimiento que satisface los cálculos matemáticos pero que carece de solidez geológica (Figura 5.10). Por lo cual se proponen los siguientes criterios geológicos para integración de los isópacos *offshore-onshore* (Figura 5.11):

- Analizar la coherencia geológica entre *offshore* y *onshore*.
- A partir de los isópacos *onshore*, reconocer las tendencias de espesor hacia *offshore*.
- Identificar los Altos y Bajos Estructurales dentro de la Cuenca Salaverry, debido a que poseen una relación inversamente proporcional con el espesor remanente.
- Identificar las posibles zonas de erosión, interpretadas anteriormente (Acápita 5.1.2).
- Tener en cuenta los *trends* estructurales.
- Mapear manualmente los isópacos *offshore*, teniendo en cuenta:
 - La tendencia de los espesores *onshore*
 - Los Altos y Bajos Estructurales
 - Las posibles zonas de erosión
 - Los espesores de las unidades no Cretácicas
- Revisar si la integración realizada posee coherencia geológica.

Por consiguiente los mapas isópacos *offshore* representan “espesores interpretados” para cada Secuencia Cretácica.

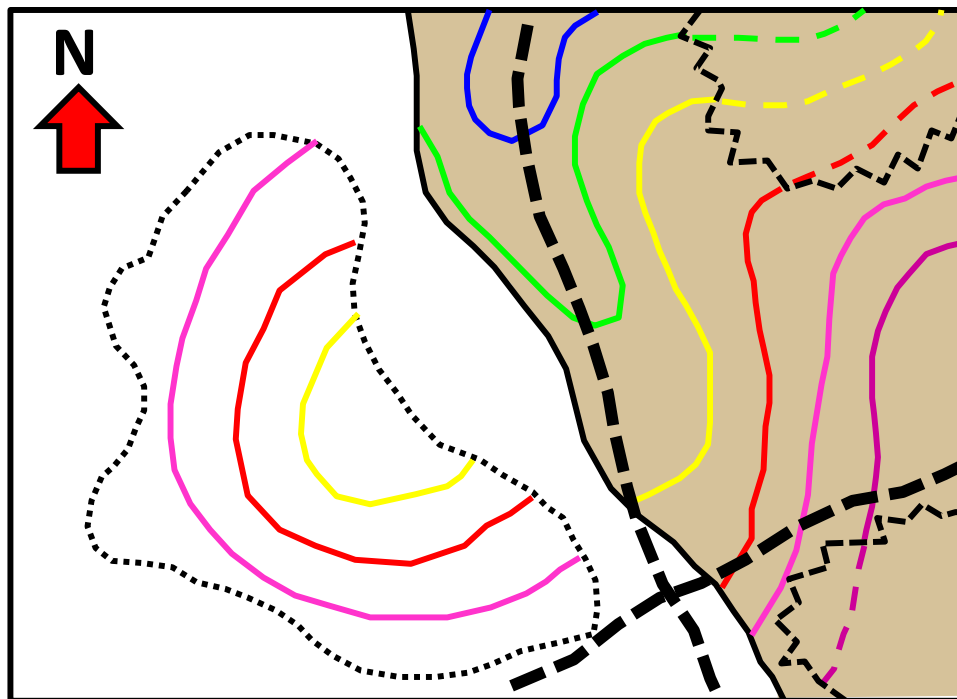


Figura 5.10. Esquema gráfico de la obtención matemática de los isópacos offshore, que carecen de coherencia geológica con los datos onshore.

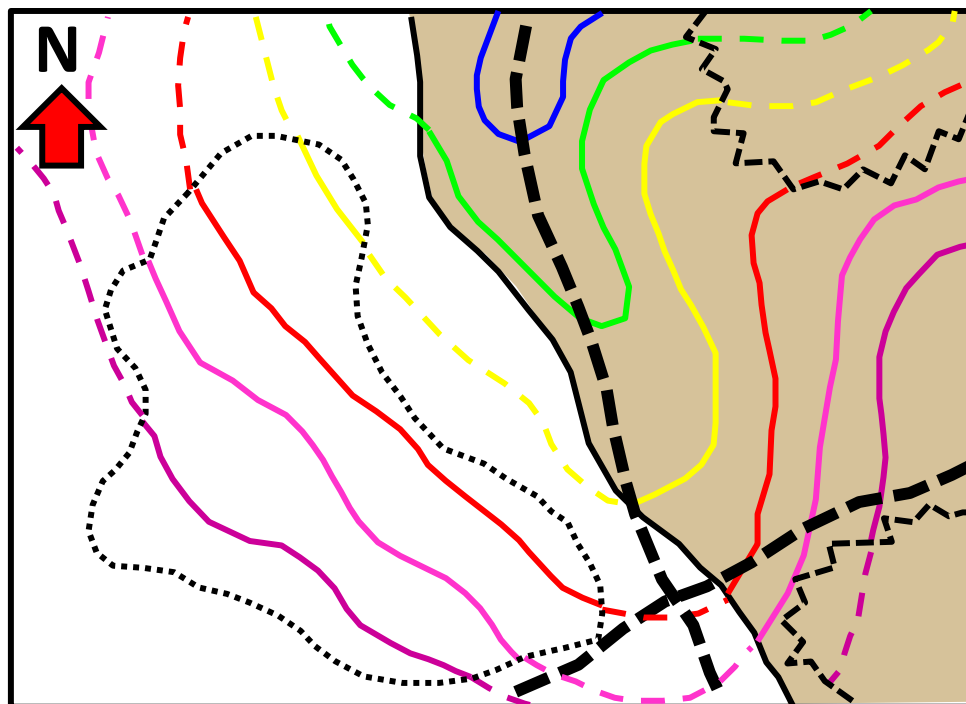


Figura 5.11. Esquema gráfico de la integración offshore–onshore a través del mapeo manual, siguiendo los criterios geológicos propuestos.

5.1.3 Distribución Offshore–Onshore de las Secuencias Cretácicas

Producto de integrar la interpretación offshore con los datos de onshore se ha obtenido un mapa de distribución e isópacos para cada Secuencia Cretácica en estudio; los cuales se describen a continuación:

Secuencia del Cretácico Inferior – SCI (Figura 5.12)

La configuración estructural, en el *present day*, para la Secuencia del Cretácico Inferior está dada por 3 Altos Estructurales de carácter regional; hacia el Este el Alto de Marañón (controlado por el Sistema de Fallas Marañón), al Oeste en *offshore* el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High (controlado por el dominio estructural Cordillera de la Costa – Outer Shelf High), y entre los Altos antes mencionados se interpreta el Alto Estructural Paccho – Canta – Yauyos (controlado por el Sistema de Fallas Tapacocha, el Sistema de Fallas Ocos – Canta – Yauyos y el Sistema de Fallas Huacllan – Churin – San Mateo) que expone rocas Jurásicas.

De esta manera entre el Alto de Marañón y el Alto Paccho–Canta–Yauyos se desarrolla la Cuenca Goyllarisquizga, en tanto que entre el Alto Paccho–Canta–Yauyos y el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High se desarrolla la Cuenca Morro Solar que se extiende hacia el Norte hasta confluir (a la latitud de Puerto Morín) con la proyección en *offshore* del Gpo. Goyllarisquizga (Figura 4.7). Cabe mencionar que dentro de la Cuenca Goyllarisquizga, entre Santiago de Chuco y Recuay, como producto de la inversión tectónica se tiene un Alto Estructural que expone rocas Jurásicas (ARJCG) y que estaría controlado por el Sistema de Fallas Chonta y el Sistema de Fallas Huaraz – Recuay.

Acorde con la presente investigación la Secuencia del Cretácico Inferior está conformada por el Gpo. Goyllarisquizga y el Gpo. Morro Solar.

Los depósitos silicoclásticos pertenecientes al Gpo. Goyllarisquizga (en estribaciones y Cordillera) se extienden desde Jaén – Bambamarca por el Norte, pasando por Cajamarca – Farrat – Santiago de Chuco – Sihuas – Huaraz, hasta Chiquian – Oyón y Canta por el Sur.

Sus isópacos manifiestan una tendencia regional de rumbo andino NO-SE, poseen notable desarrollo entre Santiago de Chuco – Farrat – Cajamarca con espesores importantes entre 2000' – 6400', mientras que hacia el Sur desde Santiago de Chuco hasta Chiquian los isópacos son más elongados y espaciados con espesores que no sobrepasan los 3000'; y desde Chiquian hasta Canta los isópacos son concéntricos y poseen desarrollo restringido con espesores entre 800' y 3200'.

La tendencia regional de sus afloramientos (en estribaciones y Cordillera) hacia el Oeste (zona costera) está condicionada en la zona norte por la cobertura del vulcanismo Cenozoico y la influencia del Alto Malabrigo–Pacasmayo–Chiclayo y el Arco Volcánico Jurásico. En tanto que en la zona sur-centro está condicionada por el Alto Malabrigo–Pacasmayo–Chiclayo, la cobertura del Gpo. Casma y el vulcanismo Cenozoico, y la influencia del Batolito Costero. Dichos alcances han permitido interpretar zonas cubiertas, zonas de erosión y/o no depositación.

Así mismo sobre la franja costera, entre Chiclayo y Cherrepe posee isópacos elongados de tendencia N–S con espesores entre 800' y 3000'; y entre Pacasmayo y Malabrigo los isópacos manifiestan una tendencia E–O con espesores entre 400' y 1200'. Dichos isópacos se extienden a offshore (entre la latitud de Chiclayo y Malabrigo) de manera restringida, con espesores interpretados entre 800' y 2400', debido a la influencia del Alto Malabrigo–Pacasmayo–Chiclayo y el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High. Sobre la zona norte del Graben Casma–Malabrigo se ha interpretado un importante desarrollo con espesores que llegan a los 4000' y donde posiblemente estarían confluyendo ambos depósitos del Cretácico. Su límite Oeste lo marca el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High y su límite Este estaría controlado por la franja de arco volcánico Jurásico–Cretácico interpretado en offshore (Venturo, 2008).

Por otro lado los depósitos silicoclásticos pertenecientes al Gpo. Morro Solar se evidencian solo en los alrededores del departamento de Lima, sobre la franja costera y las estribaciones occidentales, desde Asia por el Sur hasta Serpentín – Pasamayo por el Norte. Sus isópacos manifiestan una tendencia regional de rumbo andino NO–SE, poseen

importante desarrollo entre Lima y Asia con espesores entre 800' y 1600', mientras que al norte de Lima posee desarrollo moderado con espesores que no sobrepasan los 1000'. La tendencia regional de sus afloramientos (en costa y estribaciones) está controlada hacia el Este por la cobertura del Gpo. Casma y por la influencia del Batolito Costero y el Alto Paccho – Canta – Yauyos.

Dichos isópacos se extienden a offshore, entre la latitud de Lima y Huacho, con similar tendencia NO–SE y espesores interpretados que no sobrepasan los 1600' debido a la influencia del Alto de Lima y el Alto de Huacho. Así mismo entre la latitud de Huacho y Huarmey posee un importante desarrollo sobre el Graben Paramonga–Barranca con espesores que alcanzan los 3200' en las zonas más profundas y se adelgazan hacia el Alto Huarmey–Casma. Sobre la zona sur del Graben Casma–Malabrigo (entre la latitud de Huarmey y Casma) posee un importante desarrollo con espesores interpretados que alcanzan los 3200'. Su distribución en offshore se encuentra parcialmente restringida hacia el Oeste por el dominio el estructural Cordillera de la Costa – Outer Shelf High.

Secuencia Albiana – SAL (Figura 5.13)

La configuración estructural, en el *present day*, para la Secuencia Albiana es similar a la de la Secuencia del Cretácico Inferior. De esta manera entre el Alto de Marañón y el Alto Paccho –Canta–Yauyos se desarrollaría la Cuenca Goyllarisquizga–Inca–Chulec–Pariatambo, y entre el Alto Paccho–Canta–Yauyos y el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High se desarrollaría la Cuenca Casma–Morro Solar.

Acorde con la presente investigación la Secuencia Albiana está conformada por las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo, las facies sedimentarias del Gpo. Casma y las Fms. Pamplona-Atocongo como sus equivalentes laterales.

Los depósitos de plataforma, desarrollados en posición de trasarco hacia el Este del dominio de la Cuenca Casma – Morro Solar, pertenecientes a las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo (en estribaciones y Cordillera) se extienden desde Jaén – Bambamarca por el Norte, pasando por Cajamarca – Farrat – Santiago de Chuco – Sihuas – Huachis, hasta Chiquian – Oyón y Canta por el Sur. Sus isópacos manifiestan una tendencia regional de rumbo andino NO–SE, poseen notable desarrollo entre Farrat – Cajamarca – Bambamarca con espesores importantes entre 1600' y 3000', mientras que hacia el Sur desde Farrat hasta Chiquian los isópacos son más elongados y estrechos con espesores que no sobrepasan los 1800', y desde Chiquian hasta Canta los isópacos son algo concéntricos y poseen desarrollo restringido con espesores entre 400' y 1400'.

La tendencia regional de sus afloramientos (en estribaciones y Cordillera) hacia el Oeste (zona costera) está condicionada en la zona norte por la cobertura del volcanismo Cenozoico y la influencia del Alto Malabrigo–Pacasmayo–Chiclayo, el Arco volcánico Jurasico; y en la zona sur-centro por el Alto Paccho–Canta–Yauyos (Oyón – Chiquian). Dichos alcances han permitido interpretar zonas cubiertas, zonas de erosión y/o no depositación.

Así mismo sobre la franja costera, entre Puemape y Cherrepe, posee isópacos elongados y espaciados de tendencia E–O con espesores entre 400' y 1300'; y al Norte de

Cherrepe los isópacos manifiestan una tendencia NE-SO con espesores que no alcanzan los 700'.

Dichos isópacos se extienden a offshore (entre la latitud de Cherrepe y Malabrigo) de manera restringida, con espesores interpretados entre 400' y 800', debido a la influencia del Alto Malabrigo–Pacasmayo–Chiclayo y el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High. Sobre la zona norte del Graben Casma–Malabrigo (entre latitud de Malabrigo y Casma) se ha interpretado un importante desarrollo con espesores que llegan a los 2000' y donde posiblemente estarían confluyendo ambos depósitos Albianos (Sección sísmica 93-40, Figura 3.16).

Su límite Oeste lo marca el Alto de la Cordillera de la Costa–Outer Shelf High y su límite Este, hacia la línea de costa, estaría controlado por la franja del arco volcánico Cretácico interpretado en offshore (Venturo, 2008).

Por otro lado las facies sedimentarias del Gpo. Casma y las facies Pamplona – Atocongo definidas como su equivalente lateral; se extienden desde Pucusana por el Sur pasando por Lima – Chancay – Huacho – Supe y llegando hasta Huarmey y Chimbote por el Norte. Sus isópacos manifiestan una tendencia regional de rumbo andino NO-SE, poseen importante desarrollo entre Lima y Chancay con espesores entre 800' y 1200', mientras que en los alrededores de Huarmey alcanza 1600' como espesor máximo.

La tendencia regional de sus afloramientos (en costa y estribaciones) está controlada hacia el Este por la influencia de las facies volcánicas del Gpo. Casma y el Batolito Costero.

Dichos isópacos se extienden a *offshore*, entre la latitud de Lima y Huacho, con similar tendencia NO–SE y espesores interpretados que no sobrepasan los 800' debido a la influencia del Alto de Lima y el Alto de Huacho. Así mismo entre la latitud de Huacho y Huarmey poseen un importante desarrollo sobre el Graben Paramonga–Barranca con espesores que alcanzan los 3200' en las zonas más profundas y relativamente se adelgazan hasta los 2000' hacia el Alto Huarmey–Casma. Sobre la zona sur del Graben

Casma–Malabrigo (entre la latitud de Huarmey y Casma) posee un moderado desarrollo con espesores interpretados que alcanzan un máximo de 2000’.

Su distribución en *offshore* se encuentra restringida parcialmente hacia el Oeste por el dominio estructural Cordillera de la Costa – Outer Shelf High (que controla al Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High) a manera de truncamiento contra falla.

Secuencia del Cretácico Superior – SCS (Figura 5.14)

La configuración estructural, en el *present day*, para la **Secuencia del Cretácico Superior** está dada por 4 Altos Estructurales de carácter regional; hacia el Este el Alto de Marañón (controlado por el Sistema de Fallas Marañón), al Oeste en *offshore* el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High, hacia el Norte el Arco Volcánico Jurásico – Complejo de Olmos.

De esta manera la Cuenca Pulluicana – Quilquiñan se desarrolla en el área demarcada por el Alto de Marañón, el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf High, el Alto Malabrigo–Pacasmayo–Chiclayo y el Arco Volcánica Jurasico.

Acorde con la presente investigación la Secuencia del Cretácico Superior está conformada por los Gpos. Pulluicana – Quilquiñan.

Los depósitos de plataforma, pertenecientes a los Gpos. Pulluicana – Quilquiñan (en estribaciones y Cordillera) se distribuyen desde Jaen – Huambos por el Norte, pasando por Bambamarca – Cajamarca, hasta Huamachuco por el Sur. Sus isópacos manifiestan 2 tendencias regionales marcadas, hacia el Norte poseen rumbo NNE-SSO en tanto que al Sur poseen rumbo NO-SE; además poseen notable desarrollo entre Huambos – Bambamarca – Cajamarca con espesores importantes entre 2400' y 4000', en tanto al Sur de Cajamarca son más elongados y estrechos con espesores interpretados que varían entre 1200' y 3200'.

La tendencia regional de sus afloramientos (en estribaciones y Cordillera) hacia el Oeste (zona costera) está condicionada al Norte por la influencia del Alto Malabrigo–Pacasmayo–Chiclayo y el Arco volcánico Jurasico; y hacia el Sur por el Alto de rocas Jurasicas-Cretácicas. Dichos alcances han permitido interpretar zonas cubiertas, zonas de erosión y/o no depositación.

Así mismo sobre la franja costera, entre Pacasmayo y Cherrepe, posee isópacos elongados y espaciados de tendencia E–O con espesores entre 400' y 800'.

Dichos isópacos se extienden a offshore (entre la latitud de Cherrepe y Trujillo) de manera restringida, con espesores interpretados entre 400' y 1200', debido a la influencia del Alto Malabrigo–Pacasmayo–Chiclayo y el Alto de la Cordillera de la Costa – Outer Shelf

High. Sobre el extremo norte del Graben Casma–Malabrigo (entre latitud de Malabrigo y Trujillo) se ha interpretado un moderado desarrollo con espesores que alcanzan los 2000' y posiblemente no se extiendan más hacia el Sur.

Su distribución en *offshore* se encuentra restringida parcialmente hacia el Oeste por el dominio estructural Cordillera de la Costa – Outer Shelf High.

CAPÍTULO VI

POTENCIAL GENERADOR DE HIDROCARBUROS DE LAS SECUENCIAS CRETÁCIAS

En el presente capítulo se estudia e interpreta el potencial geológico–económico de las Secuencias Cretácicas, dentro del contexto del Sistema de Petróleo, como rocas generadoras de hidrocarburos. Además se propone dentro de su distribución la locación de posibles pods y cocinas.

Para lo cual se ha recopilado toda la *data* correspondiente a los análisis geoquímicos de muestras de afloramiento; luego ésta ha sido revisada, depurada y finalmente analizada a través de charts (de uso estándar en la industria petrolera), con el fin describir sus valores e interpretar su condición geoquímica.

De esta manera las condiciones geoquímicas que evidencian las muestras de afloramiento se han integrado con los datos geológicos generados en los capítulos precedentes (apoyados de la geología regional); para así caracterizar el potencial generador de hidrocarburos de cada Secuencia Cretácica definida en la presente investigación.

6.1 INTRODUCCIÓN

EVIDENCIAS DE HIDROCARBUROS

La reciente identificación de un *oil seep* marino en la Cuenca Salaverry es una prueba fehaciente del hidrocarburo generado dentro de la misma (Valencia et. al., 2010).

Por otro lado la presencia de afloramientos de petróleo en diferentes zonas de la Cuenca Trujillo es un hecho revelador de la generación de hidrocarburos en los alrededores

de la Cuenca Salaverry. Algunos de estos *oil seeps* han sido conocidos desde el siglo XVI y los demás fueron identificados por Repsol (1997-2000) durante la evaluación que realizaron en la cuenca (PARSEP, 2001).

El estudio geoquímico y modelado de cuenca realizado por Repsol (1997-2000) reveló que el origen de los *oil seeps* estaría asociado a 5 intervalos marinos lutáceos de edad Cretácica – Terciaria, que poseen gran extensión e importante espesor. Los intervalos lutáceos de edad Cretácica corresponden a las Fms. Muerto y Redondo que podrían correlacionarse con las Formaciones Cretácicas descritas y estudiadas en la presente investigación.

Así mismo el pozo Morsa 1-X evidenció shows de hidrocarburos en unidades de edad Mioceno (277 – 475 m. y 475 – 580m.) y Eoceno (970 - 1005 m. y 1005 – 1120 m.), en tanto el pozo Lobos 1-X evidenció shows de petróleo en unidades de edad Eoceno (1270 – 1310 m., 1310 – 1385 y 1570 m.), Paleoceno (1810 – 1813 m) y Cretácico superior (2017, 2071 – 2072 m., 2204.5 m., 2208.5 m.). Así mismo el pozo ODP-679 evidencio shows de petróleo y concentraciones de hidrocarburos termogénicos C3 a C6+ (Petroperu, 1987).

Todas estas evidencias indican la presencia de al menos dos Sistemas de Petróleo activos; uno en la Cuenca Salaverry y otro en la Cuenca Trujillo, y alientan la exploración de hidrocarburos en la Cuenca Salaverry.

POTENCIAL EN EL AREA DE ESTUDIO

Habiendo generado un modelo de distribución offshore–onshore para cada Secuencia Cretácica, fue posible reconocer la importante cantidad de afloramientos que estas tienen y su respectiva extensión; con lo cual se planteó la tarea de interpretar su potencial geológico-económico, dentro del contexto del Sistema de Petróleo.

Dado que la caracterización de un potencial elemento del Sistema de Petróleo necesita de valores provenientes de estudios y análisis que sustenten los datos geológicos (por ejem: petrofísica para reservorio y para sello); la presente tesis se ha enfocado en las potenciales rocas generadoras por contar con data pública de análisis geoquímicos de afloramientos, que ha permitido realizar una interpretación geoquímica-geológica integrada.

De esta manera la data geoquímica se ha discriminado estratigráficamente y se ha ubicado geográficamente con el objetivo de relacionar los valores de los parámetros geoquímicos con la geología local–semiregional, y de esta manera interpretar su potencial generador de hidrocarburos hacia offshore.

6.2 MUESTREO GEOQUÍMICO DE AFLORAMIENTOS (Datos recopilados)

Con el objetivo de recopilar la mayor cantidad de datos geoquímicos provenientes de afloramientos Cretácicos, se revisaron diferentes fuentes de información, tales como: informes técnicos no publicados, estudios geoquímicos de distintas compañías, publicaciones y reportes realizados por PERUPETRO-LCV (1999) y PETROPERU (1987 y 1989). Los datos geoquímicos corresponden a análisis de TOC y Pirólisis Rock-eval realizados en su totalidad en muestras de afloramiento.

De esta manera se ha logrado obtener información de 24 locaciones (13 en la zona norte y 11 en la sur del área de estudio) con un total de 248 muestras de afloramiento compiladas, las cuales se han organizado en series según la Secuencia Cretácica a la que pertenecen (Tabla 3):

SECUENCIA CRETÁCICA	LOCACIONES	MUESTRAS	Análisis Geoquímicos	
			TOC	Pirólisis Rock-eval
Secuencia del Cretácico Superior (SCS)	3	31	31	0
Secuencia Albiana (SAL)	17	147	122	25
Secuencia del Cretácico Inferior (SCI)	5	70	53	17
TOTAL	25	248	206	42

Tabla 3. Clasificación de las muestras de afloramiento compiladas según la Secuencia Cretácica a la que pertenecen y el tipo de análisis realizado.

Debido a la amplia distribución de las Secuencias Cretácicas el total de muestras recopiladas se concentran en 2 zonas conspicuas: la zona norte, comprendida entre Trujillo y Huambos, y la zona sur comprendida entre Lima y Pucusana (Figura 6.1).

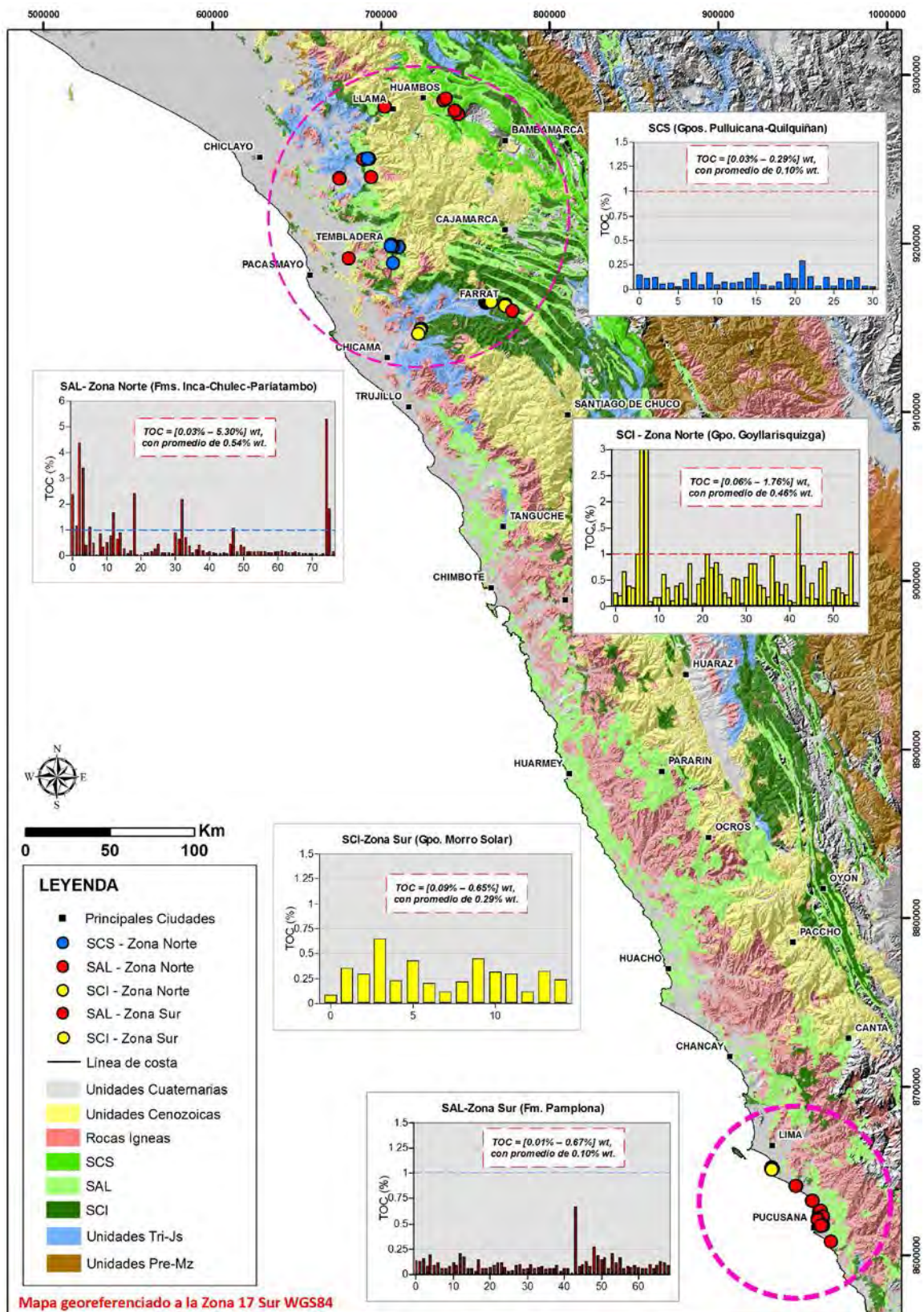


Figura 6.1. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento que poseen análisis geoquímicos. Se muestra gráficos de barras de TOC para cada Secuencia Cretácica.

De las 248 muestras recopiladas, 70 muestras corresponden a la **SCI** (55 de la zona norte y 15 de la zona sur), 147 muestras corresponden a la **SAL** (78 de la zona norte y 69 de la zona sur) y 31 muestras corresponden a la **SCS** (todas tomadas en la zona norte).

Con los datos organizados y ubicados geográficamente se ha realizado un simple análisis estadístico sobre el contenido de TOC (% wt) de las muestras; el cual indica que la **SCI** posee valores de TOC entre 0.06 y 1.76% wt con un promedio de 0.46% wt para la zona norte, mientras que en la zona sur posee valores de TOC entre 0.09 y 0.65% wt con un promedio de 0.29% wt. Por otro lado la **SAL** posee valores de TOC entre 0.03 Y 5.30% wt con un promedio de 0.54% wt para la zona norte; en tanto que en la zona sur los valores de TOC varían entre 0.01 y 0.67% wt, con promedio de 0.10% wt. Finalmente la **SCS** posee valores de TOC entre 0.03 y 0.29% wt con un promedio de 0.10% wt (Figura 6.1).

6.3 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA – GEOLÓGICA DE LAS SECUENCIAS CRETÁICAS

La caracterización se basó en el análisis de datos geoquímicos y su integración con los datos geológicos. El análisis de datos se ha realizado en 2 etapas; donde la primera consiste de un análisis preliminar realizado sobre toda la población de muestras (Tabla 4), en tanto la segunda etapa solo considera las muestras que poseen datos de Pirolisis Rock-eval (Tabla 5).

Es así que el **análisis preliminar** realizado en las muestras de la **SCI** evidencia que:

- Para la Fm. La Herradura, TOC = [0.09% – 0.65%] wt, con promedio de 0.29% wt.
- Para la Fm. Chimú, TOC = [0.35% – 1.01%] wt, con promedio de 0.68% wt.
- Para la Fm. Santa-Carhuaz, TOC = [0.06% – 1.76%] wt, con promedio de 0.45% wt.
- Para la Fm. Farrat, TOC = [0.22% – 1.03%] wt, con promedio de 0.43% wt.

Es necesario mencionar que para la Fm. Chimú no se tomaron en cuenta 2 muestras con TOC de 4.99% y 30.90%, debido a que las muestras son carbonosas. De forma similar se trabajo con las muestras pertenecientes a la **SAL**, evidenciando que:

- Para la Fm. Pamplona, TOC = [0.01% – 0.67%] wt, con un promedio de 0.10% wt.
- Para las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo, TOC = [0.03% – 5.30%] wt, con un promedio de 0.54% wt.

Así mismo los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan, evidencian TOC = [0.03% – 0.29%] wt, con un promedio de 0.10% wt.

SECUENCIA CRETACICA	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	TOC min (%)	TOC max (%)	TOC prom (%)	Cantidad de muestras	FUENTE DE DATOS
SCS	Gpos. Pulluicana-Quilquiñan	0.03	0.29	0.10	31	PERUPETRO-LCV, PETROPERU, Consultora de
SAL	Fms. Inca-Chulec-Pariatambo	0.03	5.30	0.54	78	PERUPETRO-LCV, PETROPERU, Consultora de
	Fm. Pamplona	0.01	0.67	0.10	69	PERUPETRO-LCV
SCI	Fm. Farrat	0.22	1.03	0.43	5	PETROPERU
	Fm. Santa-Carhuaz	0.06	1.76	0.45	46	PERUPETRO-LCV, PETROPERU,
	Fm. Chimú	0.35	1.01	0.68	4	SAVIA, PETROPERU
	Fm. La Herradura	0.09	0.65	0.29	15	PERUPETRO-LCV

Tabla 4. Resumen que muestra el análisis preliminar del total de muestras (248).

Posteriormente en la segunda etapa del análisis, de cada unidad estratigráfica, solo se han tomado en consideración las muestras que poseen datos de Pirolisis Rock-Eval, con el objetivo de tener una población de muestras homogénea que revele el comportamiento geoquímico a través de todos sus parámetros y nos permita evitar interpretaciones limitadas y/o sesgadas solo en la cantidad de TOC (Tabla 5).

De esta manera el **análisis depurado** realizado en las muestras de la **SCI** indica que:

- La Fm. La Herradura (3 muestras), posee TOC promedio de 0.51% wt, Tmax promedio de 524°C y Ro promedio de 2.60.
- La Fm. Chimú (1 muestra), posee TOC de 1.01% wt, Tmax de 481°C y no posee valores de Ro.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEPURADO – VALOR PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS GEOQUÍMICOS

SECUENCIA CRETACICA	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	TOC (%)	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	S3 (mg/g)	Tmax (°C)	S1/TOC	HI	OI	S2/S3	PI	S1+S2	Ro (%)	Nº Muestras	FUENTE DE DATOS
SCS	NO POSEE DATOS DE PIROLISIS ROCK-EVAL														
	Gpos. Pullucicana-Quitiquinan														
SAL	Fms. Inca-Chulec-Pariatambo	1.44	0.04	0.06	0.14	428	0.54	3.79	16.58	0.41	0.65	0.11	3.10	24	PERUPETRO-LCV,
	Fm. Pamplona	0.67	0.00	0.03	0.24	450	0.00	4.48	35.82	0.13	0.00	0.03	-	1	PERUPETRO-LCV
SCI	Fm. Farrat	1.03	0.06	0.00	0.12	322	5.83	0.00	11.65	0.00	1.00	0.06	-	1	PETROPERU
	Fm. Santa-Carhuaz	0.90	0.01	0.02	0.24	315	1.50	3.20	26.60	0.19	0.66	0.04	4.62	12	PETROPERU
	Fm. Chimú	1.01	0.12	0.21	0.18	481	11.99	20.90	17.91	1.17	0.36	0.33	-	1	SAVIA
	Fm. La Herradura	0.51	0.01	0.08	0.26	524	0.01	15.62	52.21	0.36	0.06	0.09	2.60	3	PERUPETRO-LCV

Tabla 5. Resumen que muestra el análisis estadístico depurado de las muestras que poseen datos de Pirolisis Rock-eval.

- La Fm. Santa–Carhuaz (12 muestras), posee TOC promedio de 0.90% wt, Tmax promedio de 315°C y Ro promedio de 4.62.
- La Fm. Farrat (1 muestra) posee TOC de 1.03% wt, Tmax de 322°C y no posee valores de Ro.

De forma similar se trabajo con las muestras pertenecientes a la **SAL**, evidenciando que:

- La Fm. Pamplona (1 muestra) posee TOC de 0.67% wt, Tmax de 450°C y no posee valores de Ro.
- La Fms. Inca–Chulec–Pariatambo (24 muestras), poseen TOC promedio de 1.44% wt, Tmax promedio de 428°C y Ro promedio de 3.10.

Así mismo los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan no poseen datos de Pirolisis Rock-eval.

Es notorio que los resultados obtenidos en el análisis depurado (Tabla 5) varíen considerablemente con los obtenidos del análisis preliminar (Tabla 4), debido a que mientras más homogéneos y abundantes sean los datos se podrá interpretar con mayor confiabilidad la condición y tendencia de los mismos.

Acorde con esto se construyeron diferentes charts con los parámetros geoquímicos, obtenidos de los análisis de Pirolisis rock-eval, y se integraron con la geología de las locaciones de muestreo; para de esta manera caracterizar el potencial generador de hidrocarburos de cada Secuencia Cretácica.

A continuación se presenta el análisis realizado para Secuencia Cretácica:

ANALISIS DE LA SECUENCIA DEL CRETÁCICO INFERIOR

De las 4 unidades estratigráficas que conforman la Secuencia del Cretácico Inferior, la Fm. Chimú y la Fm. Farrat poseen solo una (1) muestra con datos de Pirolisis Rock-eval, por lo que no se han elaborado charts geoquímicos; sin embargo el análisis estadístico (preliminar y depurado) indica que ambas formaciones poseen pobre contenido de TOC y no evidencian potencial generador de hidrocarburos (Tablas 4 y 5). Por otro lado tanto la Fm. La Herradura, sobre la zona sur, como la Fm. Santa–Carhuaz, sobre la zona norte,

poseen datos suficientes para elaborar charts geoquímicos. De esta manera el contenido de materia orgánica para la Fm. La Herradura califica como “pobre” con valores de TOC que varían entre 0.43 y 0.65% wt, y con promedio de 0.51% wt (Tabla 6).

FUENTE	MUESTRA	TOC (%)	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	Tmax (°C)	HI	OI	Ro (%)
Perupetro-LCV	CA-98-036	0.65	0.01	0.11	532	16.92	41.54	2.6
Perupetro-LCV	CA-98-038	0.43	0.01	0.1	505	23.26	39.53	–
Perupetro-LCV	CA-98-042	0.45	0.00	0.03	534	6.67	75.56	–
VALOR PROMEDIO		0.51	0.01	0.08	524	15.62	52.21	2.60

Tabla 6. Valores de TOC y Pirolisis Rock-eval obtenidos en las muestras de la Fm. La Herradura.

Así mismo los resultados de la pirolisis indican que la formación tiende al contenido de Kerógeno tipo III / IV (Figura 6.2 A).

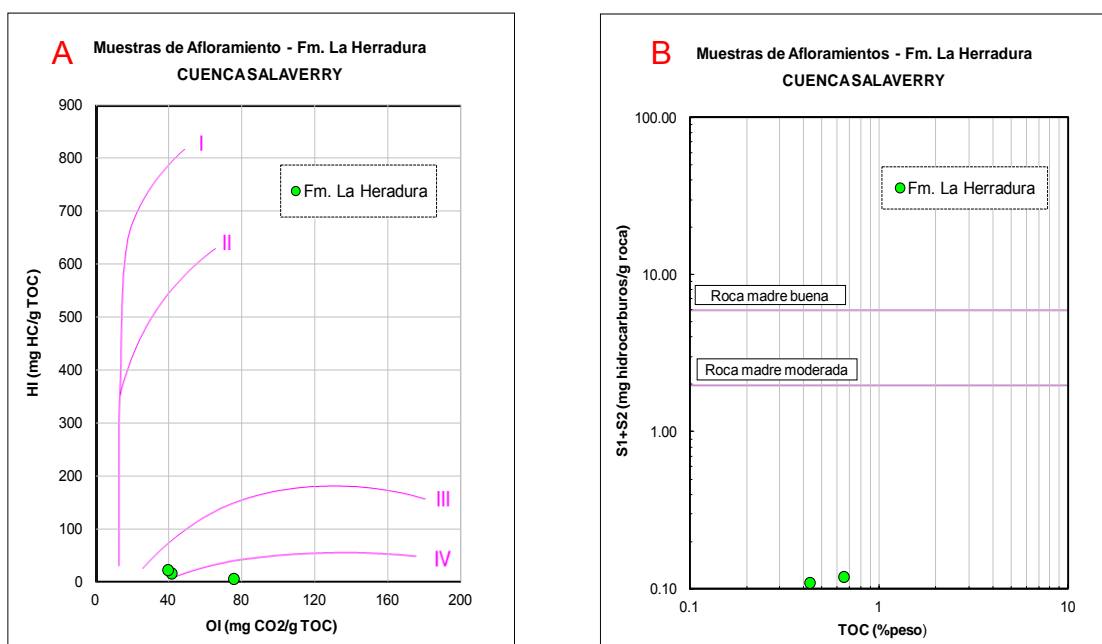


Figura 6.2. Diagramas con los resultados de las muestras analizadas de la Fm. La Herradura:
A. Clasificación del Kerógeno a partir del diagrama HI / OI.
B. Potencial de generación estimado a partir de S1, S2, y el TOC.

En términos de madurez termal posee Tmax promedio de 524°C y Reflectancia de vitrina de 2.60%, indicando una condición sobremadura para las muestras (Tabla 6).

Analizando los diferentes charts se observa que sus muestras poseen muy pobre potencial total de generación (Figura 6.2 B) y ninguna de las mismas entra a la ventana de generación de petróleo.

Aún cuando las 15 muestras analizadas (población total) corresponden a calizas y lutitas poseen TOC < 1%, posiblemente debido a condiciones desfavorables para la preservación y/o acumulación de MO durante su depositación, lo cual es característico en Kerógeno tipo III/IV; y por otro lado manifiestan alta madurez termal posiblemente debido a la influencia de las facies volcánicas del Gpo Casma (Figura 6.3).

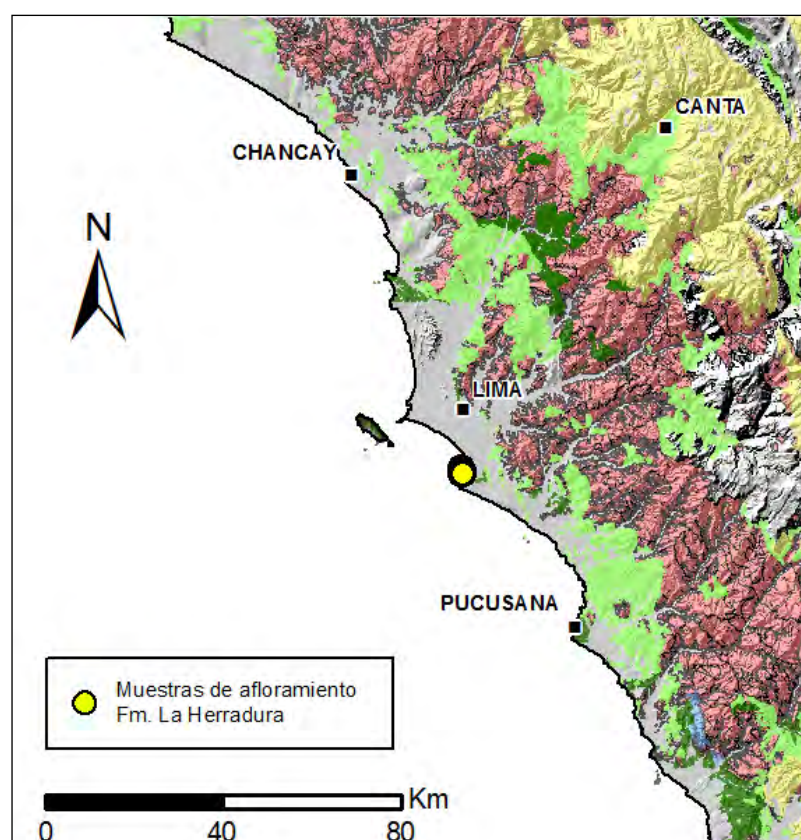


Figura 6.3. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento de la Fm. La Herradura que poseen datos de TOC y Pirolisis Rock-eval.

Por lo tanto en base a los datos geoquímicos y a la geología de las locaciones de muestreo, se interpreta que la Fm. La Herradura no posee potencial para generar hidrocarburos.

Con la misma metodología se ha analizado la Fm. Santa-Carhuaz; para la cual el contenido de materia orgánica califica como “regular”, con valores de TOC que varían entre 0.66 y 1.76% wt, y con promedio de 0.90 wt% (Tabla 7).

FUENTE	MUESTRA	TOC (%)	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	Tmax (°C)	HI	OI	Ro (%)
Perupetro-LCV	NA-98-134	0.66	0.00	0.14	524	21.21	21.21	–
PETROPERU	BN-22	0.81	0.02	0.05	304	6.17	58.02	–
PETROPERU	BN-27	1.00	0.03	0.00	390	0.00	52.00	–
PETROPERU	BN-28	0.74	0.01	0.00	213	0.00	25.68	–
PETROPERU	BN-29	0.84	0.03	0.02	319	2.38	34.52	–
PETROPERU	BN-38	0.81	0.01	0.00	305	0.00	17.28	–
PETROPERU	BN-39	0.81	0.00	0.00	213	0.00	12.35	–
PETROPERU	BN-43	0.96	0.00	0.00	317	0.00	30.21	–
PETROPERU	BN-49	1.76	0.02	0.03	420	1.70	21.59	4.62
PETROPERU	BN-50	0.77	0.01	0.00	275	0.00	20.78	4.62
PETROPERU	BN-54	0.72	0.02	0.05	289	6.94	6.94	–
PETROPERU	BN-55	0.86	0.01	0.00	215	0.00	18.60	–
VALOR PROMEDIO		0.90	0.01	0.02	315	3.20	26.60	4.62

Tabla 7. Valores de TOC y Pirolisis Rock-eval obtenidos de la Fm. Santa-Carhuaz.

Así mismo los resultados de la pirolisis indican que la formación tiende al contenido de Kerógeno tipo III (Figura 6.4 A). En términos de madurez termal posee Tmax promedio de 315°C y Reflectancia de vitrina de 4.62%, indicando condiciones de madurez que se contraponen (Figura 6.4 B y C).

Analizando los diferentes charts se observa que sus muestras poseen muy pobre potencial total de generación (Figura 6.4 D) y ninguna de las mismas entra a la ventana de generación de petróleo (Figura 6.4 C).

Así mismo el hecho que sus valores de Tmax indican inmadurez en tanto la Reflectancia de vitrina indica sobremadurez, estaría relacionado al tipo de Kerógeno y su composición.

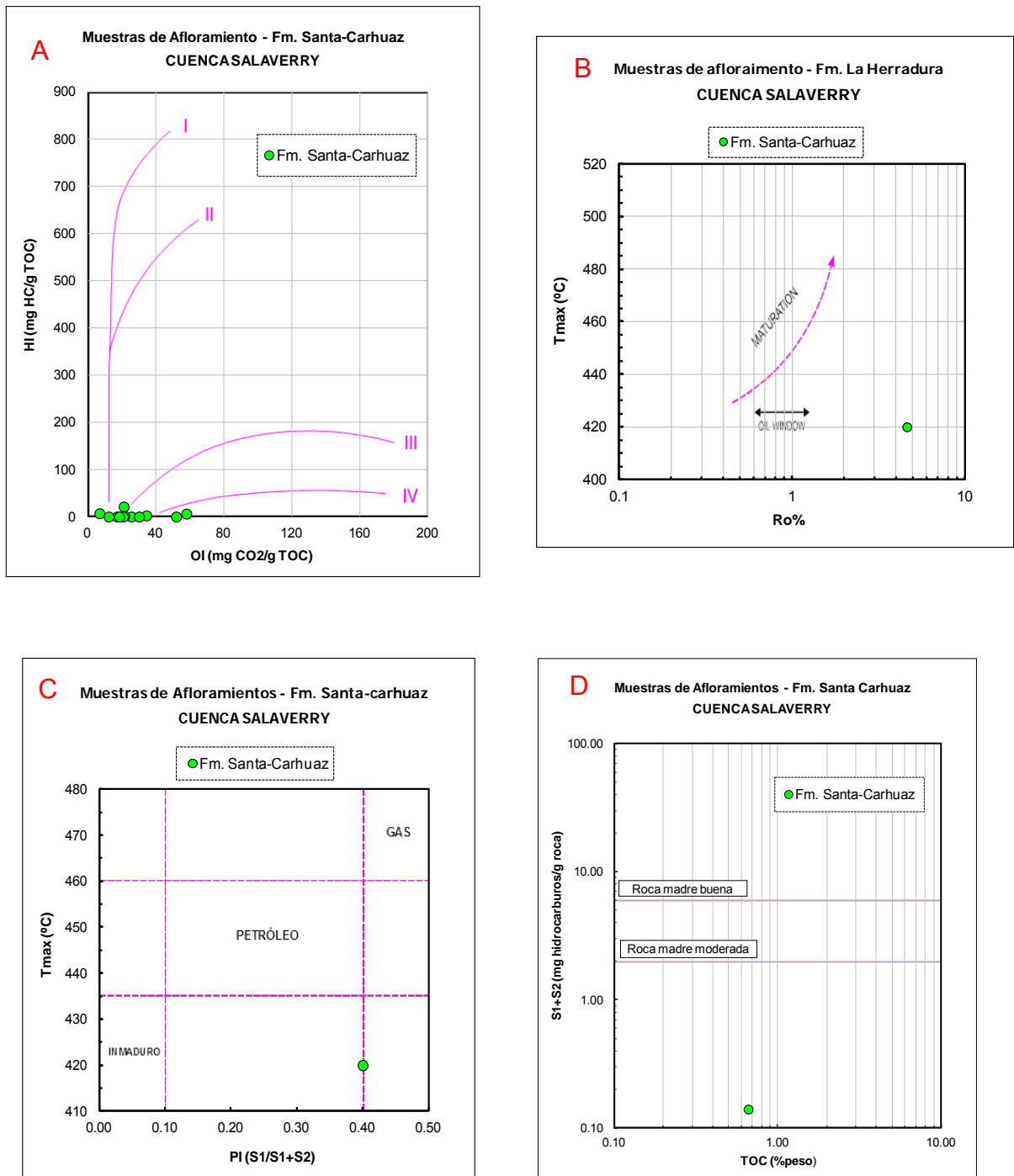


Figura 6.4. Diagramas con los resultados de las muestras analizadas de la Fm. Santa-Carhuaz:

- A. Clasificación del Kerógeno a partir del diagrama HI / OI.
- B. Relación de madurez termal entre los datos de Tmax y el Ro (%).
- C. Estimación de la madurez termal a partir del Tmax y PI.
- D. Potencial de generación estimado a partir de S₁, S₂, y el TOC.

Aún cuando las 46 muestras analizadas (población total) corresponden a lutitas poseen $\text{TOC} < 1\%$, posiblemente debido a condiciones desfavorables para la preservación y/o acumulación de MO durante su depositación, lo cual es característico en Kerógeno tipo III; y por otro lado en su mayoría las mismas manifiestan inmadurez termal, posiblemente debido a falta de soterramiento ya que las locaciones de muestreo (Baños Chimú y Río Chicama) parecen haber funcionado a manera de Alto estructural pues comprenden un área donde está ausente el Arco Volcánico Cenozoico (Figura 6.5).

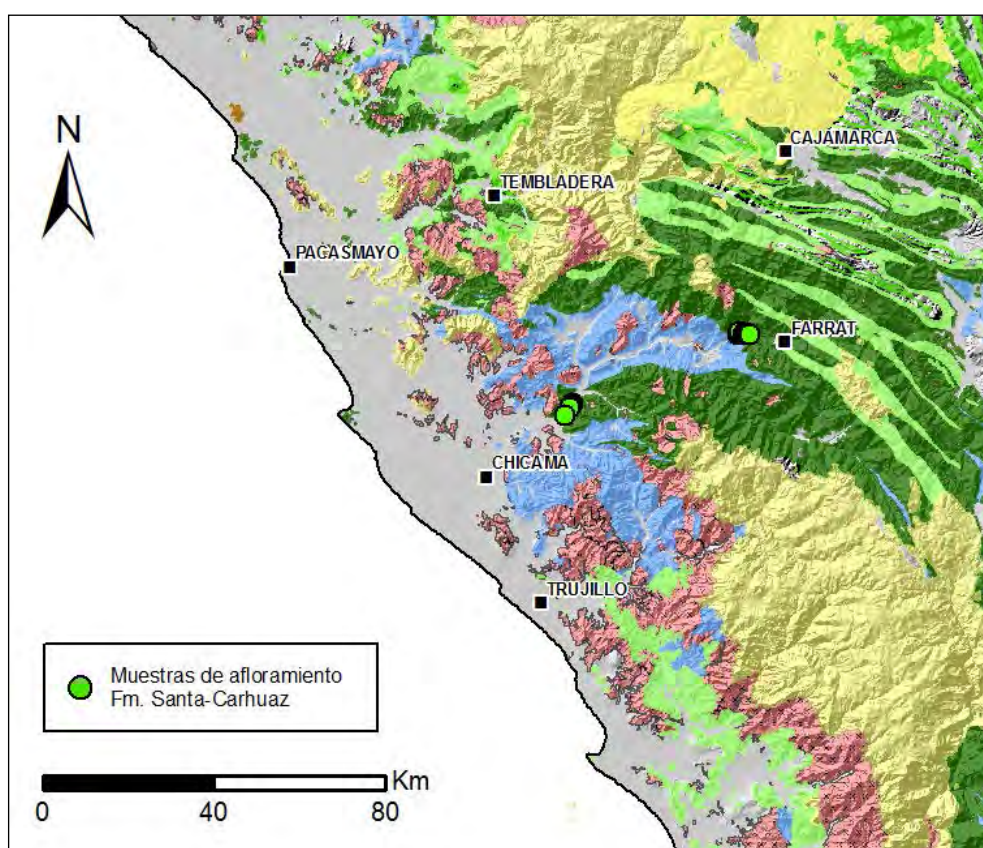


Figura 6.5. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento de la Fm. Santa-Carhuaz que poseen datos de TOC y Pirolisis Rock-eval.

Por lo tanto en base a los datos geoquímicos y a la geología de las locaciones de muestreo, se interpreta que la Fm. Santa-Carhuaz no posee potencial para generar hidrocarburos.

ANALISIS DE LA SECUENCIA DEL CRETÁCICO SUPERIOR

Las 2 unidades estratigráficas que conforman la Secuencia del Cretácico Superior no poseen datos de Pirolisis Rock-eval y por ende no ha sido posible elaborar los diferentes charts interpretativos. Sin embargo como se describió en el análisis preliminar (Tabla 4) los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan poseen 31 muestras con resultados de análisis de TOC; los cuales califican su contenido de materia orgánica como “pobre”, con valores de TOC que varían entre 0.03 y 0.29% wt, y con un promedio de 0.10% wt (Tabla 8). En términos de madurez termal no se tiene dato alguno.

FUENTE	ANO	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	SECUENCIA K	MUESTRA	TOC (%)
Consultora de Petroleo	2001	Fm. Pulluicana	SCS	PAN-01	0.11
Consultora de Petroleo	2001	Fm. Pulluicana	SCS	PAN-05	0.29
Consultora de Petroleo	2001	Fm. Pulluicana	SCS	PAN-07	0.13
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-046	0.15
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-047	0.11
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-048	0.12
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-049	0.06
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-050	0.07
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-051	0.03
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-052	0.10
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-053	0.17
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-054	0.05
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-067	0.17
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-068	0.05
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-069	0.08
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-070	0.07
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-072	0.08
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-073	0.11
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-074	0.17
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-075	0.05
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-076	0.04
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-077	0.08
Perupetro-LCV	1999	Gpo. Quilquiñan	SCS	NA-98-079	0.16
PETROPERU	1989	Gpo. Quilquinan	SCS	JQ-87-03	0.13
PETROPERU	1989	Gpo. Quilquinan	SCS	JQ-87-06	0.04
PETROPERU	1989	Gpo. Quilquinan	SCS	JQ-87-07	0.12
PETROPERU	1989	Gpo. Quilquinan	SCS	JQ-87-12	0.04
PETROPERU	1989	Gpo. Quilquinan	SCS	JQ-87-14	0.11
PETROPERU	1989	Gpo. Quilquinan	SCS	JQ-87-17	0.09
PETROPERU	1989	Gpo. Quilquinan	SCS	JQ-87-21	0.12
PETROPERU	1989	Gpo. Quilquinan	SCS	JQ-87-15	0.04
PROMEDIO					0.10

Tabla 8. Valores de TOC obtenidos en las muestras de los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan.

Aún cuando las 31 muestras analizadas (población total) corresponden a calizas (17) y lutitas (14) poseen TOC < 0.5%, posiblemente debido a condiciones desfavorables para la preservación y/o acumulación de MO durante su depositación; así mismo es necesario mencionar que las locaciones de muestreo poseen marcada influencia del volcanismo Cenozoico (Figura 6.6).

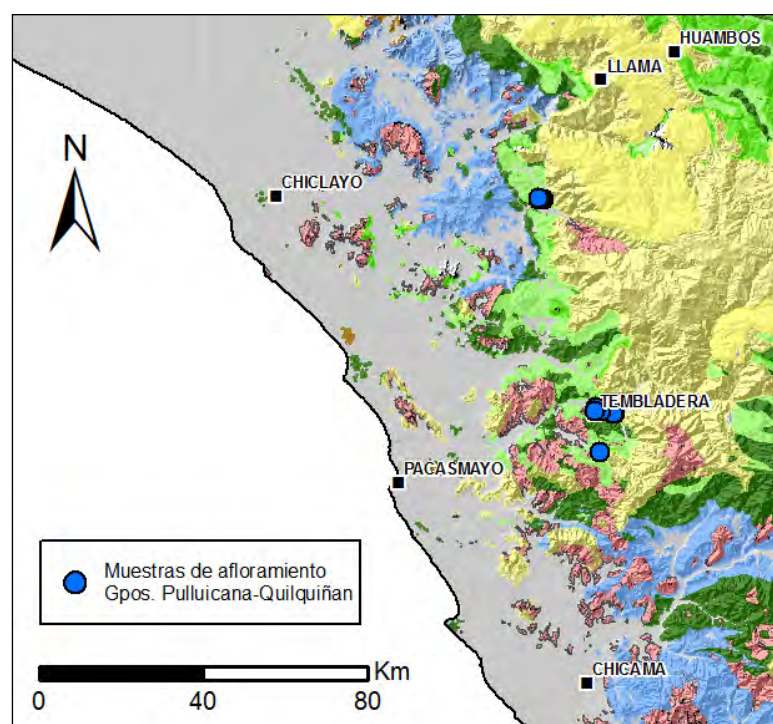


Figura 6.6. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento de los Gpos. Pullucana–Quilquiñan que poseen datos de TOC.

Por lo tanto en base a los datos geoquímicos y a la geología de las locaciones de muestreo, se interpreta que los Gpos. Pullucana–Quilquiñan no poseen potencial para generar hidrocarburos.

ANÁLISIS DE LA SECUENCIA ALBIANA

De las 4 unidades estratigráficas que conforman la **Secuencia Albiana**, la Fm. Pamplona posee solo una (1) muestra con datos de Pirolisis Rock-eval, por lo que no se han elaborado charts geoquímicos; sin embargo el análisis estadístico (preliminar y depurado)

indica que dicha formación posee pobre contenido de TOC y no evidencia potencial generador de hidrocarburos (Tablas 4 y 5).

Por otro lado las tres (3) unidades estratigráficas restantes que conforman la Secuencia Albiana (Tabla 5) se caracterizan por no evidenciar marcados contactos estratigráficos, esto debido preferentemente a falta de datos bioestratigráficos, similitud de facies y reducido espesor de los afloramientos. Por esta razón durante el muestreo geoquímico, algunos afloramientos han sido denominados por más de una Formación, por ejemplo: Fm. Inca-Chulec ó Fm. Inca-Chulec-Pariatambo.

Acorde con lo antes mencionado, los datos geoquímicos se han organizado en 3 series: Fm. Pariatambo, Fm. Inca-Chulec, y Fm. Inca-Chulec-Pariatambo; para poder diferenciar su potencial durante el análisis de la Secuencia Albiana.

FUENTE	SERIE	MUESTRA	TOC (%)	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	Tmax (°C)	HI	OI	Ro (%)
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-080	2.37	0	0	–	0	3.38	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-081	1.14	0	0	–	0	5.26	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-082	4.37	0.01	0	–	0	2.29	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-083	3.41	0	0	–	0	1.47	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-085	0.42	0.01	0	–	0	14.29	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-086	1.11	0	0	–	0	5.41	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-087	0.48	0	0	–	0	14.58	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-087	0.05	0	0	–	0	60.00	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-088	0.85	0	0	–	0	8.24	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-089	0.35	0	0	–	0	20.00	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-090	0.52	0	0	–	0	5.77	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-98-091	0.78	0.01	0	–	0	15.38	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-99-167	0.46	0.11	0	–	0	82.61	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-99-172	0.88	0.01	0.03	422	3.41	22.73	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-99-173	0.63	0.01	0	–	0	19.05	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-99-174	2.20	0.44	0.99	462	45.00	7.27	–
Perupetro-LCV	Fm. Pt	NA-99-175	0.69	0.11	0.15	392	21.74	23.19	–
Perupetro-LCV	Fm. In-Chu	NA-98-092	1.65	0.01	0.09	500	5.45	12.12	–
Perupetro-LCV	Fm. In-Chu	NA-98-093	0.62	0	0	–	0	24.19	–
Perupetro-LCV	Fm. In-Chu	NA-98-094	0.89	0.01	0.05	433	5.62	8.99	–
Perupetro-LCV	Fm. In-Chu	NA-98-098	2.41	0	0.19	545	7.88	20.33	–
PETROPERU	Fm. In-Chu-Pt	SG-07	1.07	0.12	0.02	277	1.87	9.35	3.10
PETROPERU	Fm. In-Chu-Pt	ZN-87-57	5.30	0.04	0.00	445	0.00	4.00	–
PETROPERU	Fm. In-Chu-Pt	ZN-87-58	1.81	0.03	0.00	378	0.00	8.00	–
PROMEDIO			1.44	0.04	0.06	428	3.79	16.58	3.10

Tabla 9. Valores de TOC y Pirolisis Rock-eval obtenidos en las muestras de las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo.

De esta manera el contenido de materia orgánica para la **SAL** califica como “bueno”, con valores de TOC que varían entre 0.05 y 5.30% wt, y con promedio de 1.44% wt (Tabla 9).

Así mismo los resultados de la pirolisis indican que la formación tiende al contenido de Kerógeno tipo II /III (Figura 6.7 A). En términos de madurez termal posee Tmax promedio de 428°C y Reflectancia de vitrina de 3.10% (1 sola muestra), indicando en general una condición inmadura, pero cercana a la etapa temprana de madurez (Figura 6.7 C).

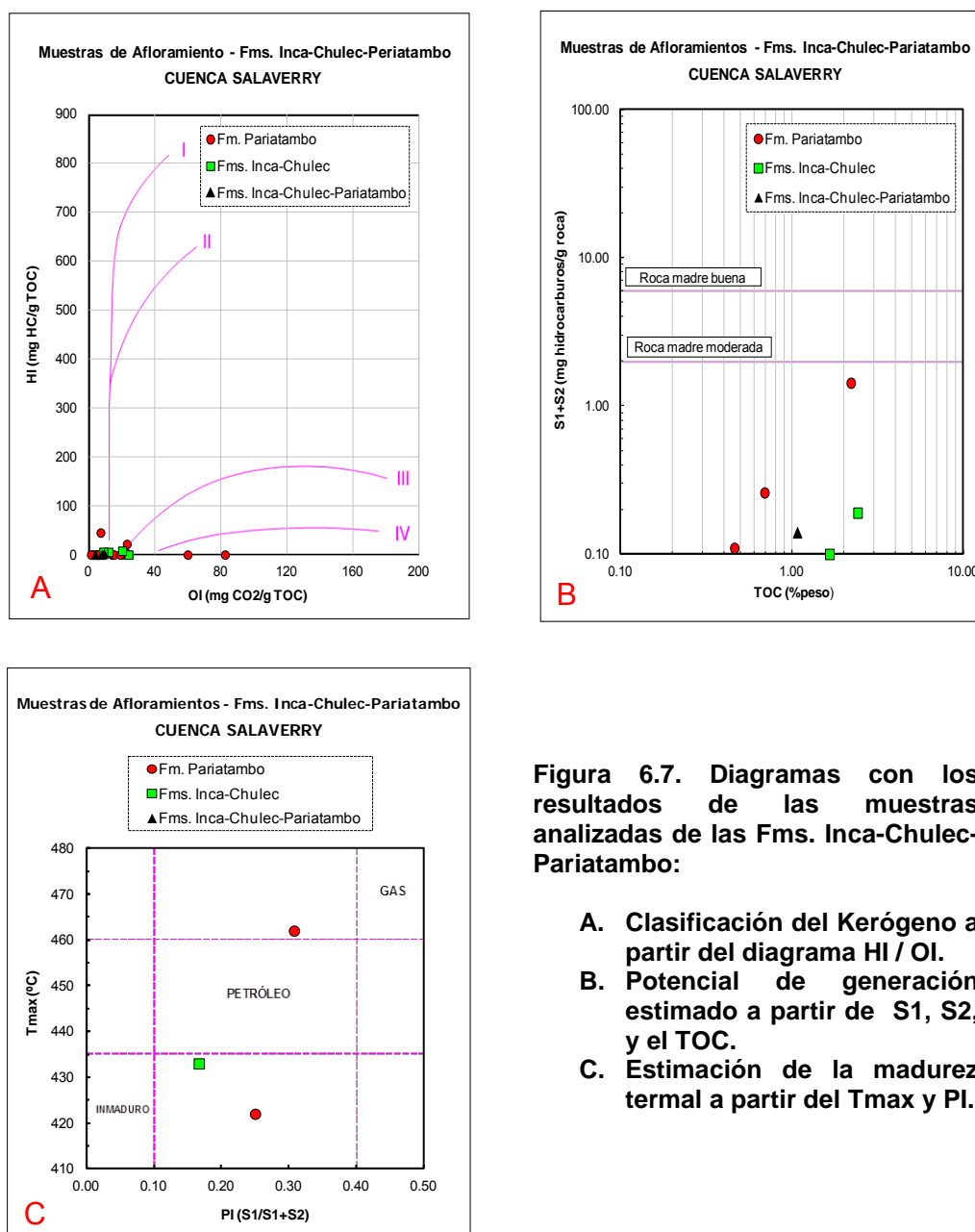


Figura 6.7. Diagramas con los resultados de las muestras analizadas de las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo:

- A. Clasificación del Kerógeno a partir del diagrama HI / OI.**
- B. Potencial de generación estimado a partir de S1, S2, y el TOC.**
- C. Estimación de la madurez termal a partir del Tmax y PI.**

Analizando los diferentes charts se observa que sus muestras (24) poseen regular a pobre potencial total de generación (Figura 6.7 B) y tres (3) de las mismas se encuentran muy cercanas a la ventana de generación de petróleo (Figura 6.7 C). Así mismo el hecho de solo poseer un dato de Reflectancia de vitrinita de 3.10%, no permite interpretar un estado de madurez termal para toda la población muestral, y posiblemente se deba al limitado aporte de MO terrígena en la plataforma carbonatada Inca–Chulec–Pariatambo.

Las 24 muestras analizadas corresponden a calizas (17), lutitas (4) y margas (3), que poseen TOC \approx 1.5%, posiblemente debido a la acumulación y preservación de MO durante su depositación; y por otro lado la mayoría de las muestras (5 de 9) manifiestan inmadurez termal (pero cercana a la etapa temprana de madurez), otro grupo (2 de 9) madurez termal y solo 2 muestras se encuentran sobremaduras (Tabla 9).

Dicho comportamiento variable de la madurez termal posiblemente está relacionado con las condiciones de soterramiento y/o erosión, y también con la influencia del volcanismo Cenozoico y el Batolito Costero; que manifiesta cada locación de muestreo (Figura 6.8).

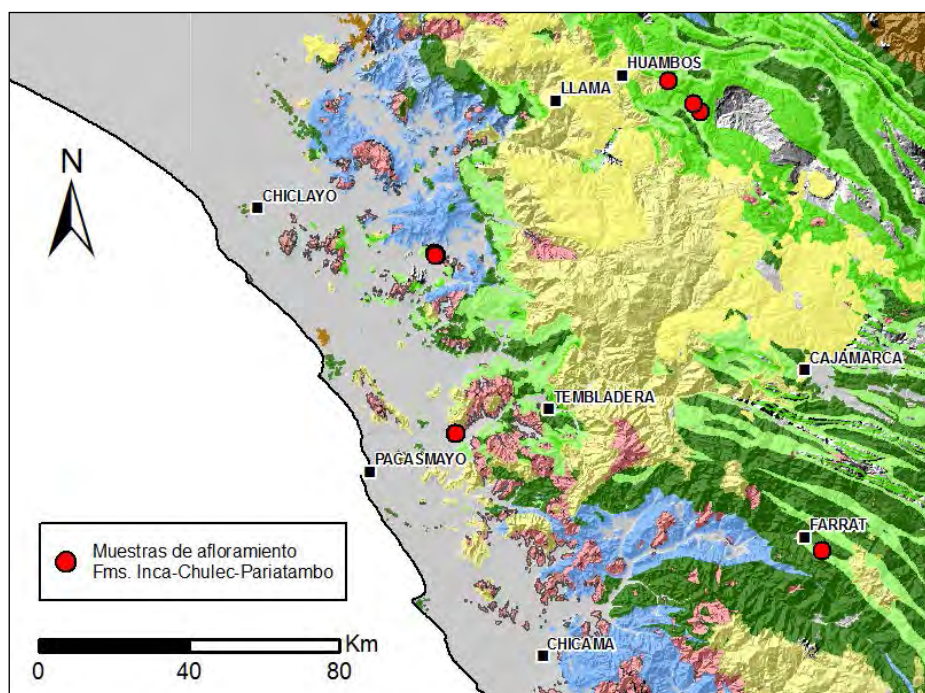


Figura 6.8. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento de las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo que poseen datos de TOC y Pirolisis Rock-eval.

Por lo tanto en base a los datos geoquímicos y a la geología de las locaciones de muestreo, se interpreta que las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo poseen regular potencial para generar hidrocarburos.

Según la caracterización geoquímica-geológica, de las 3 series de datos diferenciados para la Secuencia Albiana, la Fm. Pariatambo manifiesta las mejores condiciones como “potencial roca generadora”, y por ende se ha propuesto un análisis detallado por cada locación de muestreo.

ANÁLISIS DETALLADO DE LA SECUENCIA ALBIANA (FM. PARIATAMBO) POR CADA LOCALIZACIÓN DE MUESTREO

De esta manera en C°s de Talambo las muestras poseen muy buen TOC promedio (2.82% wt), no evidencian datos de Tmax y Reflectancia de vitrinita que permitan interpretar su madurez termal y los valores nulos de S2 indican muy pobre potencial actual de generación. Además los afloramientos de la Fm. Pariatambo no evidencian unidades suprayacentes y en sus cercanías poseen la influencia del Batolito Costero y el volcanismo Cenozoico (Figura 6.9).

En C° Culpón las muestras poseen regular a buen TOC promedio (0.57% wt), no evidencian datos de Tmax y Reflectancia de vitrinita que permitan interpretar su madurez termal y los valores de S2 indican muy pobre potencial actual (remanente) de generación. Además en dicha zona la Fm. Pariatambo no evidencia unidades suprayacentes posiblemente debido a erosión y en sus cercanías posee la influencia del Batolito Costero.

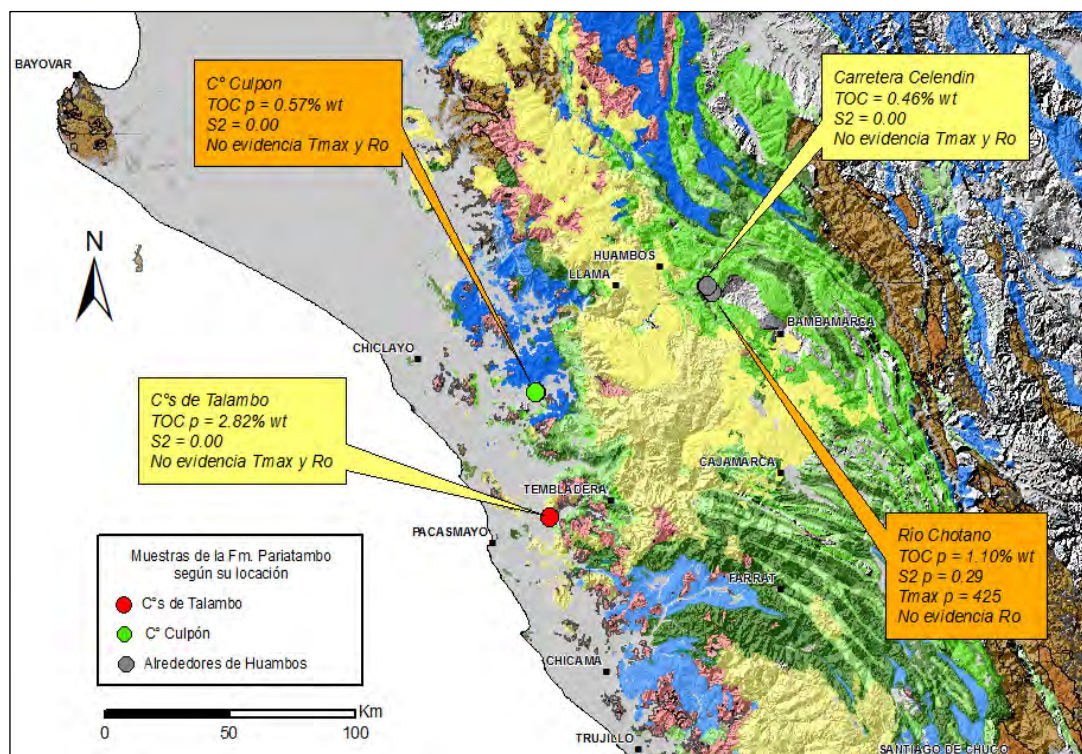


Figura 6.9. Mapa geológico con la ubicación de las muestras de afloramiento de la Secuencia Albiana (Fm. Pariatambo) y los promedios de los resultados geoquímicos obtenidos según su localización de muestreo.

Por otro lado en los alrededores de Huambos (carretera Cochabamba-Celendín) las muestras poseen pobre TOC (0.46% wt), no evidencian datos de Tmax y Reflectancia de vitrinita que permitan interpretar su madurez termal y los valores de S2 indican muy pobre potencial actual (remanente) de generación. Además los afloramientos poseen influencia del volcanismo Cenozoico.

Finalmente en los alrededores del Rio Chotano (sobre el túnel Chotano) las muestras posee buen TOC promedio (1.10% wt), el valor de S2 promedio es pobre (0.29 mg/g) lo que indica pobre potencial actual (remanente) de generación, y el Tmax promedio (425°C) manifiesta condiciones de inmadurez termal. Además los afloramientos no poseen unidades estratigráficas suprayacentes que favorezcan su soterramiento, posiblemente debido a la erosión ó a la inversión de la cuenca producto del levantamiento de los Andes.

Por consiguiente cada locación de muestreo evidencia condiciones geoquímicas particulares según la geología del área; siendo el TOC el parámetro más homogéneo. Aún cuando la cobertura de datos no es abundante los valores de TOC se han interpolado a través del espacio geográfico (Figura 6.10).

La interpolación evidencia que las curvas de isovalores wt% TOC poseen su mínimo valor hacia el norte, en los alrededores de Huambos, aumentan hacia el SO alcanzando su máximo valor en C°s de Talambo y manifiestan una tendencia positiva hacia offshore sobre la zona norte del Graben Casma – Malabrigo, con lo cual dicha área de la Cuenca Salaverry podría corresponder a una potencial cocina (Figura 6.10).

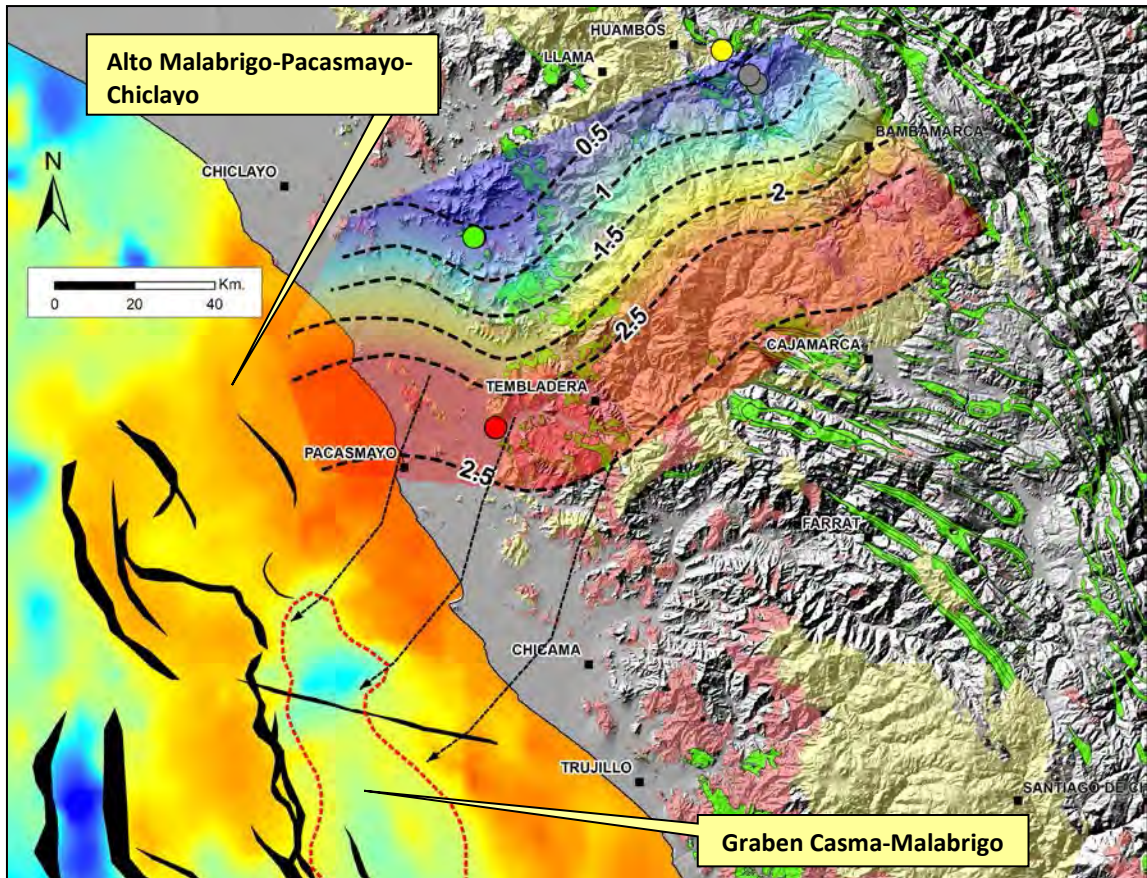


Figura 6.10. Mapa de isovalores de wt% TOC de la Fm. Pariatambo. En offshore se observa el mapa estructural en tiempo al Tope del Paleozoico donde se representa la tendencia positiva del potencial generador con flechas de color negro.

6.4 RESULTADOS DEL PROYECTO

En resumen se muestran los resultados de la caracterización del potencial generador de hidrocarburos para cada Secuencia Cretácica diferenciada:

- La Secuencia del Cretácico Inferior, representada por la Fm. La Herradura y la Fm. Santa-Carhuaz, no posee potencial para generar hidrocarburos:

SECUENCIA CRETACICA	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	TOC (%)	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	Tmax (°C)	HI	OI	Ro (%)	Nº Muestras	FUENTE DE DATOS
SCI	Fm. Santa-Carhuaz	0.90	0.01	0.02	315	3.20	26.60	4.62	12	PETROPERU
	Fm. La Herradura	0.51	0.01	0.08	524	15.62	52.21	2.60	3	PERUPETRO-LCV

- La Secuencia del Cretácico Superior, representada por los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan, no posee potencial para generar hidrocarburos:

SECUENCIA CRETACICA	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	TOC min (%)	TOC max (%)	TOC prom (%)	Cantidad de muestras	FUENTE DE DATOS
SCS	Gpos. Pulluicana-Quilquiñan	0.03	0.29	0.10	31	PERUPETRO-LCV, PETROPERU, Consultora de

- La Secuencia Albiana, representada por las Fms. Inca-Chulec-Pariatambo, posee regular potencial para generar hidrocarburos:

SECUENCIA CRETACICA	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	TOC (%)	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	Tmax (°C)	HI	OI	Ro (%)	Nº Muestras	FUENTE DE DATOS
SAL	Fms. Inca-Chulec-Pariatambo	1.44	0.04	0.06	428	3.79	16.58	3.10	24	PERUPETRO-LCV,

- De las 3 series de datos diferenciados para la Secuencia Albiana, la Fm. Pariatambo manifiesta las mejores condiciones como “potencial roca generadora”:

SECUENCIA CRETACICA	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	TOC (%)	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	Tmax (°C)	HI	OI	Ro (%)	Nº Muestras	FUENTE DE DATOS
SAL	Fms. Pariatambo	1.22	0.04	0.07	425	4.13	18.29	–	17	PERUPETRO-LCV,

- Los valores promedio de TOC de la Fm. Pariatambo poseen su mínimo valor hacia el norte, en los alrededores de Huambos, aumentan hacia el SO alcanzando su máximo valor en C°s de Talambo y manifiestan una tendencia positiva hacia offshore sobre la zona norte del Graben Casma–Malabrigo, con lo cual dicha área de la Cuenca Salaverry podría corresponder a una potencial cocina (Figura 6.9).

CONCLUSIONES

- Los depósitos Cretácicos en el área de estudio comprenden 3 secuencias de segundo orden:
 - **Secuencia del Cretácico Inferior (SCI):** conformada por el Gpo. Morro Solar y Gpo. Goyllarisquizga.
 - **Secuencia Albiana (SAL):** conformada por las Fms. Inca–Chulec–Pariatambo, las facies sedimentarias del Gpo. Casma y las Fms. Pamplona–Atcogongo como sus equivalentes laterales.
 - **Secuencia del Cretácico Superior (SCS):** conformada por los Gpos. Pulluicana–Quilquiñan.
- La **Secuencia Albiana**, representada por la Fm. Pariatambo, es la única Secuencia Cretácica que posee potencial generador de hidrocarburos en los depocentros ubicados costa afuera.
- La **Secuencia del Cretácico Inferior**, representada por las facies de areniscas pertenecientes a la Fm. Salto del Fraile, Fm. Marcavilca y Gpo. Goyllarisquizga; poseen potencial como reservorio naturalmente fracturado.
- La **Secuencia del Cretácico Superior** está restringida a la zona norte del área de estudio y posee potencial como roca de soterramiento, roca sello y posiblemente como reservorio naturalmente fracturado.

- Los Sistemas de fallas regionales y lineamientos mayores parecen haber controlado la depositación de las Secuencias Cretácicas, diferenciando su estratigrafía de Norte a Sur.
- Entre Chiclayo y Trujillo los afloramientos Jurásico–Cretácicos, se encuentran altamente fracturados y deformados posiblemente por slumps y presentan esquistocidad variable. Algunos de estos afloramientos no concuerdan con el cartografiado del INGEMMET.
- Dentro de la Cuenca Salaverry y al Oeste de la zona influenciada por vulcanismo e intrusivos, es muy probable que las Secuencias Cretácicas estén escasamente afectadas de metamorfismo de contacto, pudiendo conservar sus características litológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aleman et. al., 2006. Estratigrafía, sedimentología y evolución tectónica del área de Lima. INGEMMET – SGP. Guía de campo.

Azalgara, C., 1993. Structural evolution of the offshore forearc basins of Peru, including the Salaverry, Trujillo, Lima, West Pisco and East Pisco basins. A Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree Master of Arts. Rice University – Houston, Texas.

Bellido et. al., 2008. Los granitoides peraluminicos Triásicos de los Cerros Amotape y del Macizo de Illescas (Noroeste de Perú): Implicancias para la Evolución Geodinámica del Terreno Amotape. Resúmenes Extendidos, XIV Congreso Peruano de Geología

Benavides-Cáceres, V., 1999. Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean cycle. In: *Geology and mineral deposits of the central Andes* (B.J. Skinner, Ed.). Society of Economic Geologists, Special Publication No. 7: 61-107.

Benavides, V., 1956. Cretaceous System in Northern Peru. *Bulletin American Museum Natural History*, Vol. 108, Art. 4.

Bolaños, R., 1986. Evaluación geológica y posibilidades petrolíferas de la Cuenca Terciaria Salaverry – Trujillo. Petroperú. Departamento de Geología. División Exploración y Desarrollo de nuevas áreas. Reporte Interno Petroperú.

Bosc, E., 1963. Geología de la región comprendida entre la Quebrada de Parca (Chilca) y el Valle de Mala. Tesis Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Castro, J., 1991. El Cretáceo en la Cuenca Talara del Noroeste del Perú. Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Geólogo – UNI.

Catuneanu, O., 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam. 375 pp.

Chalco, A. & Silva, J., 2000. Análisis Rock-Eval de las posibles rocas madre de las cuencas Talara y Tumbes. Resúmenes Extendidos X Congreso Peruano de Geología.

Chew et. al., 2007. U-Pb geochronologic evidence for the evolution of the Gondwanan margin of the north-central Andes. *GSA Bulletin*. Vol. 119. N 5-6. pp. 697-711.

Cobbing, J., 1973. Geología de los Cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. Servicio Geologico y Minero. Boletín N°26, Serie A, Carta Geologica Nacional.

Cobbing et. al., 1981. *The Geology of the Western Cordillera of Northern Peru*. Institute of Geological Sciences - London. Overseas Memoir 5.

Cobbing, J. & Sanchez, A., 1996. Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca. INGEMMET. Boletín N°76, Serie A, Carta Geologica Nacional.

Cossio, A. & Jaen, H., 1967. Geología de los cuadrángulos de Puémape, Chocope, Otuzco, Trujillo, Salaverry y Santa. Servicio Geologico y Minero. Boletín N°17, Serie A, Carta Geologica Nacional.

Couch et. al., 1981. Structures of the continental margin of Peru and Chile. In Kulm, L. and others, eds., Nazca plate: Crustal formation and Andean convergence: Geological Society of America, Memoir 154.

Einsele, G., 1992. Sedimentary Basins: Evolution, Facies, and Sediment Budget. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 628.

Fernandez, J., 1958. Geología del Morro Solar, Lima. Bol. SGP, v. 33, pp. 3-50.

Fildani et. al., 2005. Geochemical characteristics of oil and source rocks and implications for Petroleum Systems, Talara Basin Northwest Peru. AAPG Bulletin, v. 89, N 11 (Nov. 2005), pp 1519-1545.

Fischer, A., 1956. Cretaceous of Northwest Peru. Internal Geological Report. I.P.Co.

Fugro, 1993. Datos geopotenciales (gravimetría y magnetometría) adquiridos durante la campana de sísmica marina 2D realizada por Seiscom Delta.

Goncalves, F., 2008. Geoquímica orgánica aplicada al estudio de sistemas petrolíferos y la solución de problemas de exploración. Curso del INGEPET 2008.

Gonzáles, E. & Alarcón, P., 2002. Potencial hidrocarbúfero de la Cuenca Talara. Trabajo técnico del IV INGEPET.

Groshong, R. 3D Structural Geology: A practical guide to quantitative surface and subsurface map interpretation. pp. 186-187

Guevara, C., 1980. El Grupo Casma del Perú Central entre Trujillo y Mala. Bol. SGP, v. 67, pp. 73-83.

Haq et. al., 1987. Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic (250 million years ago to present). Science, Vol. 235, pp. 1156–1166.

Jacay et. al., 2004. Litoestratigrafía y sedimentología de las Unidades Jurásicas de los Andes Norperuanos - Cuenca Chicama. Bol. SGP, v. 98, pp. 73-83.

Jaillard et. al., 1995. The role of Tethys in the evolution of the Northern Andes between Late Permian and Late Eocene times. In The Ocean Basins and Margins, Volume 8: the Tethys Ocean. Plenum Press, New York. Pp 463-492.

Jaillard et. al., 1997. La Transgresión del Cretáceo inferior en el Margen Andino (Perú y Ecuador). IX Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú. Volumen Especial I, pp. 331-335.

Jones, P., 1981. Crustal structures of the Peru continental margin and adjacent Nazca plate, 9°S latitude. In Kulm, L. and others, eds., Nazca plate: Crustal formation and Andean convergence: Geological Society of America, Memoir 154.

Kulm et. al., 1981. Crustal structure and tectonics of the central Peru continental margin and trench. In Kulm, L. and others, eds., Nazca plate: Crustal formation and Andean convergence: Geological Society of America, Memoir 154.

Law, C., 1999. Treatise of Petroleum Geology / Handbook of Petroleum Geology: Exploring for Oil and Gas Traps. Chapter 6: Evaluating Source Rocks. AAPG Special Volumes, pp 6-1 – 6-41.

Masias, A., 1976. Morphology, shallow structure, and evolution of the Peruvian continental margin, 6° to 18°S. Master Science Thesis. Oregon State University - Corvallis, Oregon.

Mc Nulty & Farber, 2002. Active detachment faulting above the Peruvian flat slab. *Geology*, vol. 30, pp. 567-570.

Megard, F., 1978. Estudio geológico de los Andes Centrales del Perú. Bol. N°8. Serie D. INGEMMET. Lima-Perú.

Mitchum, R., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy. In *Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration* (C. E. Payton, Ed.), pp. 205–212. American Association of Petroleum Geologists Memoir 26.

Morris, R. & Aleman, A., 1975. Sedimentation and tectonics of middle Cretaceous Copa Sombrero formation in northwest Peru. Bol. SGP, v. 48, pp. 49-64.

Mourier et. al., 1988. An accreted continental terrane in Northwestern Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 88 (1988) 182-192. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam – Printed in Netherlands.

Myers, J., 1980. Geología de los Cuadrángulos de Huarney y Huayllapampa.- Bol. INGEMMET. Boletín N°33, Serie A, Carta Geológica Nacional.

Noble et. al., 2009. Late Miocene age of “Quaternary” conglomerate and gravel of the Coastal plain of Central Peru and other evidence bearing on the Neogene evolution of Pacific Slope of the Peruvian Andes. *Sociedad Geológica del Perú. Volumen Especial, N° 7*, pp. 89-105.

Palacios, O., 1994. Geología de los Cuadrángulos de Paita, Talara, Sullana, Lobitos, Qda. Seca, Zorritos, tumbes y Zarumilla. INGEMMET. Boletín N° 54, Serie A. Carta Geológica Nacional.

Palacios, O., 1992. Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. INGEMMET. Boletín N° 43, Serie A. Carta Geológica Nacional.

Pardo, A., 1961. Geología del área de las Lomas de Manzano del Valle de Lurín, Dpto. de Lima. Tesis Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Parsep, 2001. Remaining undiscovered Hydrocarbon Potential of the Trujillo Offshore Basin Peru. Proyecto de Asistencia para la Reglamentación del Sector Energético del Perú.

PERUPETRO-LCV, 1999. Estudios de investigación geoquímica del potencial de hidrocarburos – Lotes del Zócalo y de Tierra. Reporte interno Perupetro.

Peters, K. & Cassa, M., 1994. Applied source rock geochemistry. In: Magoon, L. & Dow, W. *The Petroleum System - from source to trap*. AAPG Memoir 60, pp. 93-120.

Pethford et. al., 1996. Rapid magma production rates, underplating and remelting in the Andes: isotopic evidence from Northern Central Peru (9-11 S). *Journal of Southamerican Earth Sciences*. Vol. 9, No 1/2, pp. 69-78.

Petroperu, 1971a. Síntesis de perforación y estratigrafía del pozo Ballena 1-X. Reporte interno.

Petroperu, 1971b. Síntesis de perforación y estratigrafía del pozo Delfín 1-X. Reporte interno.

Pitcher et. al., 1985. Eds. *Magmatism at a Plate Edge. The Peruvian Andes*. Blackie Halsted Press, Glasgow. 328 pp.

Polliand, M., Schaltegger, U., Frank, M., and Fontboté, L., 2005, Formation of intra-arc volcanosedimentary basins in the western flank of the central Peruvian Andes during Late Cretaceous oblique subduction; field evidence and constraints from U - Pb ages and Hf isotopes: *International Journal of Earth Sciences*, v. 94, pp. 231–242, doi: 10.1007/s00531-005-0464-5.

Ramos, V., 2009a. Evolución de Los Andes Centrales. Laboratorio de Tectónica Andina. Curso in-house - Petro-tech Peruana S.A.

Ramos, V., 2009b. Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. *The Geological Society of America. Memoir* 204.

Repsol, 1999a. Petrographic report for Repsol exploración Peru – Morsa Norte Z29M-37-1X Well Offshore Peru. Core Laboratories Advanced Technology Center. July 1999.

Repsol, 1999b. Lobos Z29M-9-1X Well Offshore Peru Wellsite Biostratigraphy of the interval 530m to 2469 m TD. Robertson Research International Ltd. September 1999.

Repsol, 1999c. Integrated interpretation study Well Morsa Norte Z29M-37-1X.

Reyes, L. & Caldas, J., 1987. Geología de los Cuadrángulos de Las Playas, La Tina, Las Lomas y otros. INGEMMET, Bol. N° 39 Serie "A", Lima.

Ríos, A., 2004. Estudio del Metalotecto Lancones y su potencial por Yacimientos Volcanogénicos de Sulfuros Masivos (VMS) – Piura, Perú. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Rivera, R., 1975. Estratigrafía de la Costa de Lima. *Bol. SGP*, v. 65, pp.159-186.

Soler, R., 1991. El volcanismo Casma del Perú Central: ¿Cuenca marginal abortada o Simple arco volcánico?. Resúmenes extendidos, VII Congreso Peruano de Geología, pp. 659-663.

Robert, et. al., 1990. La transgresión del Cretáceo inferior en el margen andino (Perú y Ecuador): datos preliminares. *Sociedad Geológica del Perú. Boletín SGP*, vol. 88, pp. 73-86.

Romero et. al., 2005. Nueva datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de la Formación Pucusana como aporte a la interpretación paleogeográfica (Hauteriviano-Albiano inferior) de la Costa del Perú Central. *Bol. SGP*, v. 100, pp. 7-19.

Romero, D., 2007. La Cuenca Cretácico superior - Paleoceno del Perú Central: Un Metalotecto para la exploración de SMV, ejemplo Mina Maria Teresa. Tesis de Maestría. Red DESIR Universidad Politécnica de Madrid. pp. 99.

Romero, D., 2008. Distribución del Grupo Goyllarisquizga (Cretáceo Inferior) en el Centro y Norte del Perú. Reporte Interno PTP.

Romero et. al., 2010. Evolución Tectono-sedimentaria del margen continental durante el Jurásico-Cretácico, costa afuera del Perú Central. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. *Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial* N° 9.

Romeuf et. al., 1995. Middle Jurassic volcanism in Northern and Central Andes. *Revista Geológica de Chile*, v. 22, n° 2, pp. 245-259.

Rosas et. al., 2007. Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucara Basin, Central Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 24, pp. 1-24.

Savia, 2006. Reconocimiento geológico en las islas Lobos de afuera. Reporte interno SAVIA PERU S.A.

Savia, 2009a. Informe del procesamiento digital de imágenes y cartografía digital del área del litoral peruano entre las ciudades de Chiclayo y Paracas. Reporte interno SAVIA PERU S.A.

Savia, 2009b. Salida de campo Cuenca Pisco. Reporte interno SAVIA PERU S.A.

Savia, 2009c. Salida de campo en los alrededores de Lima. Reporte interno SAVIA PERU S.A.

Savia, 2009d. Reconocimiento geológico de campo entre Huacho y Chancay. Octubre 2009. Reporte interno SAVIA PERU S.A.

Savia, 2009e. Reconocimiento geológico entre Pacasmayo y Chiclayo. Diciembre 2009. Reporte interno SAVIA PERU S.A.

Savia, 2011. Afloramientos Cenozoicos sobre el margen continental peruano. Reporte interno SAVIA PERU S.A.

Stewart et. al., 1974. Age determinations from Andean Peru: a reconnaissance survey. Bulletin of the Geological Society of America, vol. 85, pp. 1107-1116.

Tegart et. al., 2000. Regional setting, stratigraphy, alteration and mineralization of the Tambo Grande VMS district, Piura Department, Northern Peru. In VMS Deposits of Latin America. Edited by R. Sherlock and M. A. V. Logan. Geological association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Paper No 2. Pp. 375-405.

Timoteo, D., 2010. Distribución de las Secuencias Cretácicas en el Offshore del Perú Centro-Norte, entre Lima y Chiclayo. Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial N°9. XV Congreso Peruano de Geología – Cusco, 2010. Resúmenes Extendidos, pp. 734-737.

Thornburg, T. & Kulm, L., 1981. Sedimentary basins of the Peru continental margin: Structure, stratigraphy, and Cenozoic tectonics from 6° S to 16° S latitude. Nazca plate: Crustal formation and Andean convergence. Geological Society of America, Memoir 154.

Vail, et. al., 1991. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview. In Cycles and Events in Stratigraphy. (G. Einsele, W. Ricken and A. Seilacher, Eds.), pp. 617–659. Berlin, Springer-Verlag.

Valencia, K. & Uyen, D., 2002. Cuenca Lancones: Interpretación geológica. Trabajo técnico del IV INGEPET.

Venturo, D., 2008. Evidencia sismo-geológica e influencia volcánica mesozoica en el Sistema Petrolero de la Cuenca Salaverry. Resúmenes Extendidos, XIV Congreso Peruano de Geología.

Wilson, J., 1963. Cretaceous stratigraphy of Central Andes of Peru. AAPG Bulletin, v. 47, pp. 1-34.

Wilson, J., 1984. Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén. INGEMMET. Boletín N° 38, Serie A, Carta Geologica Nacional.