



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**MODELO EVOLUTIVO PARA LA SUCESIÓN SEDIMENTARIA
DEPOSITADA ENTRE LA CUENCA DE POST RIFT Y LA CUENCA DE
ANTEPAÍS DE MAGALLANES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA
ANGÉLICA ISABEL SOTO RIVEROS

PROFESOR GUÍA:
PATRICIO BRAVO ESPINOSA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
VALENTINA FLORES AQUEVEQUE
SOFÍA REBOLLEDO LEMUS

Este trabajo ha sido financiado por ENAP-SIPETROL

SANTIAGO DE CHILE

2018

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA

OPTAR ALTITULO DE: Geóloga

POR: Angélica Isabel Soto Riveros

FECHA: 19/11/2018

PROFESOR GUIA: Patricio Bravo Espinosa

MODELO EVOLUTIVO PARA LA SUCESIÓN SEDIMENTARIA DEPOSITADA ENTRE LA CUENCA DE POST RIFT Y LA CUENCA DE ANTEPAÍS DE MAGALLANES

La sucesión sedimentaria que se deposita entre el Barremiano-Cenomaniano, en la cuenca de Magallanes, Chile, es respuesta de mecanismos depositacionales complejos, estudiados por numerosos autores en los afloramientos de la faja plegada. Sin embargo, el subsuelo de la zona oriental sólo se ha estudiado a través de la información de pozos. Estos depósitos se generan previos a la cuenca de antepaís de Magallanes y con posterioridad a la ruptura cortical que originó la cuenca marginal (Cuenca de Rocas Verdes) en una etapa de subsidencia termal, manifestada como una extensa transgresión marina diacrónica.

Desde un punto de vista sedimentológico el estudio de las facies más distales, conformada por la Formación Lutitas con Ftanita y la Formación Margas, permite atribuir cuatro facies a la Formación Lutitas con Ftanitas: (1) wacka/fangolita biogénica, (2) fangolita con laminaciones de limolita, (3) laminación ondulítica de fangolita-limolita y (4) argilita. Mientras que la Formación Margas se puede agrupar de igual forma en cuatro facies, pero con mayor contenido de carbonatos: (1) fangolita, (2) mudstone bioturbado con intercalación de caliza, (3) wackestone con fragmentos de pelecípodos y (4) wackestone biogénico con laminaciones calcáreas.

Las facies mencionadas de la Formación Lutitas con Ftanita, por el abundante contenido de material fino o matriz y baja madurez composicional permite atribuirle a un ambiente de baja energía dominado por procesos de decantación en una plataforma externa. Asimismo, la presencia de pirita y preservación de laminación delgada en las formaciones son evidencias de ambientes depositacionales anóxicos, condición adecuada para la preservación de la materia orgánica. Las facies presentes en la Formación Margas corresponderían en parte a facies depositadas en una plataforma más somera, constituyendo los últimos depósitos de la cuenca marginal.

Ambas formaciones son asociadas a la sección distal de flujos turbidíticos de grano fino evidenciada por la abundancia de fragmentos fósiles. Además, la presencia de líticos volcánicos podría ser indicio de la existencia de actividad volcánica coetánea en el periodo de depositación.

El análisis e interpretación de la información existente, aunque todavía escasa, permite definir los elementos necesarios para la caracterización de rocas y la definición de un proyecto de exploración petrolera, enfocado en la Formación Lutitas con Ftanitas, la cual tiene favorables condiciones para ser considerado un reservorio no convencional de hidrocarburos debido a la estimación de hidrocarburos a partir de perfiles eléctricos de pozos y datos geoquímicos.

. Adicionalmente las mismas rocas de reservorio en el límite occidental de la plataforma tendría las condiciones geomecánicas adecuadas para ser estimuladas a partir de fracturamiento hidráulico.

*Dedicado a mi mamá Olga
Porque me apoyaste y porque te quiero*

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a mi familia por acompañarme en este largo camino, por su paciencia y cariño. Por haberme entregado la oportunidad de recibir una educación de excelencia.

A la Empresa Nacional del Petróleo por darme la oportunidad de realizar la memoria y poder contar con todo el departamento de Exploración y Producción tanto de Santiago como Magallanes.

A Don Patricio Espinosa, profesor guía, quién elaboró el tema de investigación, me guío, y orientó a lo largo del desarrollo de la memoria.

A la Profesora Valentina Flores y Sofía Rebolledo por su ayuda y orientación para entregar un trabajo de calidad.

A los amigos que estuvieron durante la carrera en especial Allison, Lesly, Romy, Mati, Ignana, Martin, Vitoco, Libe, Vane y el Tomy (*los mantitos*), geólogos amigos que volvieron más grato mi paso por la universidad y por extender la amistad más allá de los estudios.

Finalmente agradecer a la Universidad de Chile en especial el Departamento de Geología, a todos sus profesores y nuestra secretaria Blanca organizadora de ésta gran comunidad.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Formulación del estudio propuesto	1
1.2 Ubicación Geográfica de la zona de estudio	2
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Metodología	6
2. MARCO GEOLÓGICO	16
2.1 Evolución de la Cuenca de Magallanes	16
2.2 Estratigrafía	18
2.2.1 Formación Punta Barrosa	21
2.2.2 Formación Barros Arana	21
2.2.3 Formación Erezcano	22
2.2.4 Formación Canal Bertrand	23
2.2.5 Formación Lutitas Gris Verdosas	24
2.2.6 Formación Margas	24
2.2.7 Formación Lutitas con Ftanitas	24
2.2.8 Formación Estratos con Favrella steinmanni	24
2.2.9 Formación Río García	25
2.2.10 Formación Vicuña	25
2.2.11 Formación La Paciencia	26
2.2.12 Formación Río Jackson	26
2.3 Antecedentes de descripciones litológicas	27
3. RESULTADOS	30
3.1 Estudio Sismo-estratigráfico	30
3.2 Estudio sedimentológico	36
3.2.1 Facies F1 Wacka/Fangolita biogénica	36
3.2.2 Facies F2 Fangolita con laminaciones de limolita	37
3.2.3 Facies F3 Laminación ondulítica de fangolita-limolita	40
3.2.4 Facies F4 Argilita	44
3.2.5 Facies F5 Fangolita	46
3.2.6 Facies F6 Mudstone bioturbado con intercalación de caliza	48
3.2.7 Facies F7 Wackestone con fragmentos de pelecípodos	50
3.2.8 Facies F8: Wackestone biogénico con laminaciones calcáreas	51

3.3 Descripción de formaciones e interpretación	54
3.3.1 Formación Lutitas con Ftanitas	54
3.3.2 Formación Margas	55
3.4 Análisis Petrofísico	56
3.4.1 Resistividad y Rayos gamma	58
3.4.2 Porosidad	59
3.5 Geoquímica Básica	60
3.5.1 Contenido Orgánico Total (TOC)	60
3.5.2 Reflectancia de la Vitrinita (Ro)	61
3.6 Diagrama Mineralógico-ternario	62
3.7 Parámetros Geomecánicos	64
3.8 Mapas Isópacos	65
4. DISCUSIONES	67
4.1 Sismoestratigrafía	67
4.2 Asociación de facies	68
4.3 Ambiente depositacional	69
4.4 Evolución paleoambiental entre la cuenca de tras-arco y de antepaís	70
4.5 Antecedentes para un futuro proyecto de exploración petrolera	72
5. CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	76

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa geológico señalando rasgos morfoestructurales de la Cuenca de Magallanes de oeste a este. Modificado de (Bravo & Herrero, 1991)	3
Figura 2 Mapa de zona de estudio. Círculos negros indican el total de pozos analizados en este estudio.	4
Figura 3. Ubicación de <i>markers</i> eléctricos en Cuenca de Magallanes	9
Figura 4. Principales tipos de reflectores sísmicos tomado de Catuneanu (2006)	10
Figura 5. Imagen satelital señalando pozos con análisis sedimentológico y sus respectivas muestras de corte delgado.	11
Figura 6. Clasificación de rocas clásticas según Dott (1964)	11
Figura 7. Clasificación de rocas carbonáticas según Dunham (1962)	12
Figura 8. Imagen Satelital de pozos que cuentan con Reflectancia de vitrinita (Ro)	15
Figura 9. Carta crono-estratigráfica ilustrando las diferentes etapas en la evolución de la Cuenca de Magallanes. Modificado de Mpodozis, (2004)	17
Figura 10. Cuadro estratigráfico Jurásico superior – Cretácico. Tomado de Cañon (2000), modificado incorporando los cambios propuestos por Mpodozis (2006), y Fildani et al., (2003).	19
Figura 11. Mapa Geológico proporcionado por ENAP incorporando ubicación aproximada de los sectores y afloramientos mencionados en la estratigrafía: Sector 1 Última Esperanza, Sector 2 Península Brunswick e Isla Riesco, Sector 3 Distrito Springhill (subsuelo) y Sector 4 Tierra del Fuego (Chile). Detalle de Leyenda es presentado en el ANEXO 1.	21
Figura 12. Imagen satelital indicando la posición de los pozos con los que se cuenta descripciones litológicas detalladas realizadas por el laboratorio LCV.	28
Figura 13 Ubicación de sísmica 3D Bloque Dorado-Riquelme y sísmica 2D al oriente de la cuenca de Magallanes	30
Figura 14. Sísmica 3D, Bloque Dorado-Riquelme imagen limpia e interpretación.	32
Figura 15. Sísmica Regional 2D, Sector Centro imagen limpia e interpretación.	33
Figura 16. Sísmica Regional 2D, Sector Centro-2 imagen limpia e interpretación	34
Figura 17. Sísmica Regional 2D, Sector Sur imagen limpia e interpretación	35
Figura 18. Lautaro-13: profundidad 2370.2 m nicoles paralelos, mostrando la abundancia de foraminíferos, carófitas(?) y fragmentos fósiles.	37
Figura 19. Pozo: Lautaro13: (A) profundidad 2370.2 m, lítico volcánico a nicoles cruzados; (B) profundidad 2376.5 m, clorita a nicoles paralelos; (C) y (F) profundidad 2370.2 m muestra de flujos rodeando clasto no identificado a nicoles paralelos; (D) profundidad 2370.2, contacto entre fangolita y limolita; (E) profundidad 2370.2, cuarzo y plagioclasa a nicoles cruzados	38
Figura 20. Columna estratigráfica esquemática de pozo: Lautaro 13. Leyenda ANEXO 3.	39
Figura 21. Pozo Flamenco-16; (A) (B) capas de limolita con clastos subangulosos a nicoles paralelos profundidad 1848.2 m, (C) capa arcillosa a nicoles cruzados	

profundidad 1848.2 m, (D) capa arcillosa con escasos clastos a nicoles paralelos. Pozo Albatros-6; (E) contacto entre capa de limolita y capa de fangolita, (F) fangolita con abundancia de radiolarios orientados a lo largo de la laminación del estrato.	41
Figura 22. Columna estratigráfica esquemática de pozo Flamenco-16. Leyenda ANEXO 3.	42
Figura 23. Columna estratigráfica esquemática de pozo Albatros-6. Leyenda ANEXO 3.	43
Figura 24. Pozo: Nika Oeste-1: (A) , (B) y (C) líticos alineados a la matriz. (C) incluye espícula alineada y (D) sector no alineado por la presencia de líticos opacos (biogénicos?).....	44
Figura 25. Columna estratigráfica esquemática de pozo: Nika Oeste-1. Leyenda ANEXO 3.	45
Figura 26. Dicky -1 prof. 2420.3 m En la foto izquierda se observan fragmentos de valvas de pelecípodos con microperforaciones y clastos volcanoclásticos subredondeados. En la imagen derecha se observa fragmentos de valvas de pelecípodos, foraminíferos y clastos de feldespato potásico.	46
Figura 27. Columna estratigráfica esquemática de pozo: Dicky-1. Leyenda ANEXO 3.	47
Figura 28. Monte Aymond prof. 2013 m. En (A) se observa un macro fósil de ostrácodo (?), mientras que el conjunto de imágenes (B, C Y D) señalan el orden de depositación establecido de estos sedimentos en diversas áreas de la lámina delgada (1, 2,3).	49
Figura 29. Monte Aymond-2 prof. 2012.5 (A), (B) muestra cristales de calcita de contacto suturado presión-disolución, mientras que (E) y (F) el contacto tiende a ser alargado por lo que muestra una presión preferencial. En (C) y (D) se observa calcitas columnares a prismático dentro de las vetillas.	49
Figura 30. Columna estratigráfica esquemática de pozo: Monte Aymond-2. Leyenda ANEXO 3.....	50
Figura 31. Pozo Dorado Sur-12 prof. 2785.2 m.....	51
Figura 32. Dorado Sur-12 prof. 2773.2 m A la izquierda se observa un foraminífero centrado rodeado de abundantes bioclastos, mientras que la imagen de la derecha prof. 2777 también posee abundantes bioclastos, al centro radiolarios, y en la esquina inferior derecha se observan foraminíferos.	52
Figura 33. Dorado Sur-12. (A) prof. 2778.8 lamina de limolita compactada (B) Prof. 2777 m Cúmulos limosos de cuarzo y extraclastos. (C) prof. 2774.2 lamina de limolita, en su centro fragmento belemnite; y (D) Lamina de limolita con foraminíferos.....	53
Figura 34. Columna estratigráfica esquemática de pozo: Dorado Sur 12. Leyenda ANEXO 3.....	54
Figura 35. Mapa con ubicación de transectas para análisis Petrofísico, Contenido Orgánico Total y Parámetros Geomecánicos.....	57
Figura 36. Pozo Lautaro-13. Perfil eléctrico rayos gamma (verde) y resistividad (rojo)	59
Figura 37. Diferencia de porosidad promedio entre la Formación Lutitas con Ftanitas y Formación Margas.	60

Figura 38. Pozo Lautaro-13.Registro de Contenido Orgánico Total (rojo), junto al registro de rayos gamma (verde).	61
Figura 39. Mapa indicando la estimación de la ventana de generación de gas húmedo bajo el horizonte C5.	62
Figura 40. Diagrama ternario Sílice-Carbonato-Arcilla. Adaptado de Gamero-Díaz et. al 2012. Incluye distribución mineralógica de la Cuenca Vaca Muerta tomada de Askenazi et. al., (2013).	64
Figura 41. Parámetros geomecánicos determinado a partir de 33 pozos.	65
Figura 42. Mapa de espesor de los depósitos de la Formación Lutitas con Ftanitas (izquierda) y Margas (derecha) en el área analizada de la Cuenca de Magallanes, Flechas indican proveniencia de sedimentos (grosor de la flecha indica la importancia del aporte),	66
Figura 43. Sísmica 3D representativa entre el Barremiano-Cenomaniano. Sísmica limpia junto a su interpretación. Círculos morados indican terminaciones tipo onlap y verde tipo toplap, mientras que polígono azul representa la facies A y el polígono verde la facies B	68
Figura 44. Pozo Dorado Sur-12 (izquierda) y Lautaro 13 (derecha) con parte de la secuencia de Stow-Shanmugam, (1980): T3: laminación paralela delgada, T4-T5 laminación indiferenciada a convoluta, T7 arcilla sin gradación con pseudonódulos de limo y T8 Hemi-pelágicos bioturbación.....	69
Figura 45 Figura esquemática de la evolución paleoambiental. Simbología: CRV=Cuenca de Rocas Verdes, E=Fm. Erezcano, L=Fm. Lutitas con Ftanitas, M= Fm. Margas, V=Fm. Vicuña, PB=Fm. Punta Barrosa y LGV= Fm. Lutitas Gris Verdosas.....	71
Figura 46. Comparación de parámetros geomecánicos en transectas para la Formación Lutitas con Ftanitas	73

Índice de tablas

Tabla 1. Datos realizados para cada pozo de la cuenca de Magallanes.....	6
Tabla 2. Tipos de perfiles de pozos utilizados, propiedades medidas, y su uso para interpretaciones.....	12
Tabla 3.Descripción de facies sísmicas para la secuencia sedimentaria.	31
Tabla 4. Facies para las formaciones Margas y Lutitas con Ftanitas	36
Tabla 5. Cuadro comparativo para la Formación Lutitas con Ftanitas y Formación Margas.	72

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Formulación del estudio propuesto

La Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) se fundó en 1950 luego del descubrimiento del primer pozo de petróleo de Chile en el sector de Springhill, en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena. Desde entonces, ENAP se encarga de la exploración, producción, refinación y comercialización de hidrocarburos y sus derivados con el fin de satisfacer la demanda nacional, en particular de los diferentes productos de combustibles líquidos refinados. El área de Exploración y Producción, si bien no tiene capacidad de producción de crudo para abastecer significativamente el requerimiento de las refinerías, tiene el rol de satisfacer la demanda de gas en la Región de Magallanes, y de habilitar nuevos recursos para flexibilizar la integración de las distintas Líneas de Negocios. Es por ello que la actividad de exploración en Magallanes tiene una necesidad constante en la búsqueda de reservas en nuevos plays y yacimientos, ya sean convencionales o no convencionales.

En los últimos años, como consecuencia del riesgo comercial de la exploración en el reservorio tradicional de Springhill, se han estado evaluando plays exploratorios en horizontes diferentes al tradicional dentro de la Región de Magallanes. Para esto existe un interés especial en profundizar en el conocimiento básico de la geología de Magallanes, desde distintas disciplinas: estratigráfico secuencial, ambientes depositacionales, caracterización de unidades estratigráficas, evolución estructural, etc., todo con el fin de construir un modelo de cuenca integrado y coherente. Bajo este contexto, existe interés en estudiar con mayor detalle la secuencia cretácica que subyace a la unidad secuencial que se encuentra asociada a la fase compresiva mayor y que da origen a la cuenca de antepaís.

La secuencia cretácica es el registro de la sedimentación en una cuenca extensiva de tras-arco en el dominio occidental, la cual ha sido estudiada por diferentes autores (Keidel & Hemmer, 1931; Hollister, 1943; Thomas, 1949; González & Barwick, 1951; Mordojovich, 1951a; González, 1952; García & Cortés, 1952; Charrier & Lahsen, 1965; Winslow, 1980; Soffia, 1988; Covácevich, 1991; Castelli et al., 1992; entre otros) en afloramientos de la faja plegada y fallada. El dominio oriental ha sido estudiado con la información obtenida de los pozos perforados y obedece a diferentes mecanismos depositacionales, asociados a condiciones de cuenca de subsidencia no extensiva. Por lo tanto, la caracterización de ambas secuencias, además del entendimiento conjunto de los mecanismos depositacionales y de dispersión de sedimentos, es fundamental para desarrollar un modelo evolutivo de la cuenca.

Considerando que en el dominio oriental algunos pozos han demostrado condiciones de reservorio, produciendo cantidades no comerciales de petróleo; es interés de la empresa buscar las condiciones adecuadas (geomecánicas, distribución de facies, litología, entre otras), para establecer la base del diseño de un posible proyecto de exploración petrolera. Particularmente aquellas condiciones que permitan estimular la

producción de hidrocarburos en rocas de baja permeabilidad, característica principal de las rocas en estudio.

En este contexto, a través de un estudio evolutivo estratigráfico y litológico se busca complementar la información obtenida en la década de los 90' para la secuencia que nace del cierre de la Cuenca de Rocas Verdes y previa a la cuenca de antepais. Finalmente, la caracterización geomecánica de la roca permitirá que en un futuro se evalúe la factibilidad de un proyecto de exploración petrolera.

1.2 Ubicación Geográfica de la zona de estudio

La cuenca de Magallanes (XII Región de Magallanes y la Antártica Chilena) se ubica en el extremo sur de Sudamérica, a lo largo del límite convergente entre la Placa Sudamericana y la Placa Antártica. Se localiza al sur del punto triple formado por la unión de las placas de Nazca, Sudamericana y Antártica, abarcando un área aproximada de 175.000 km² (700 km x 250 km), con una geometría elongada orientada NNW-SSE. Su límite meridional lo constituye el borde norte de la Placa de Scotia.

A escala local, se encuentra limitada al suroeste por el Batolito Patagónico y al este por el Arco de Dungeness-Río Chico que la separa de la cuenca de Malvinas como se observa en la Figura 1 (Bravo & Herrero, 1991). Respecto a la zona de estudio, se enfoca en la Plataforma Springhill, específicamente en el dominio oriental de la cuenca de Magallanes (Figura 2).

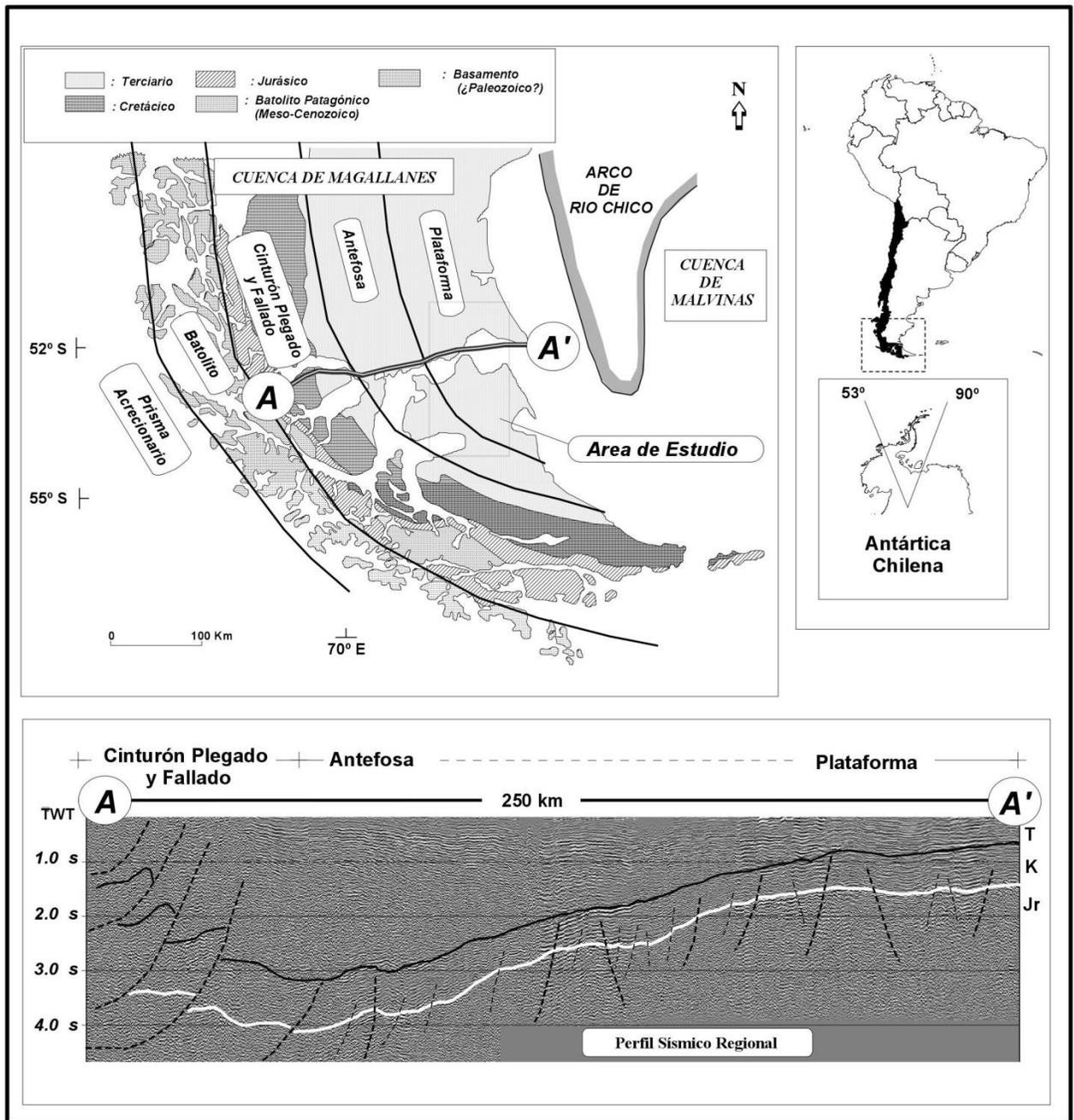


Figura 1. Mapa geológico señalando rasgos morfoestructurales de la Cuenca de Magallanes de oeste a este. Modificado de (Bravo & Herrero, 1991)

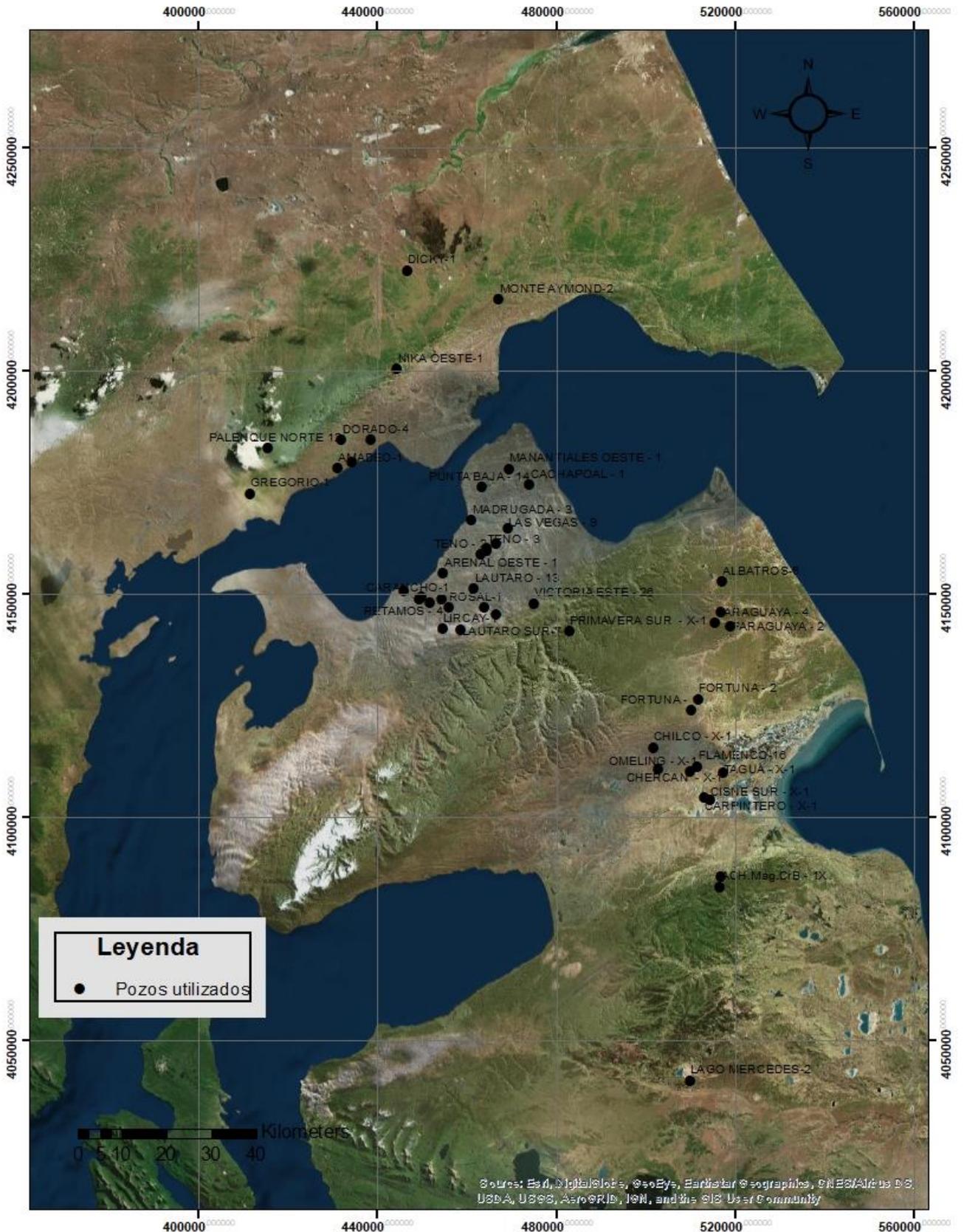


Figura 2 Mapa de zona de estudio. Círculos negros indican el total de pozos analizados en este estudio.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Construir un modelo evolutivo de la sucesión sedimentaria de transición correspondiente a la Formación Lutitas con Ftanitas y Formación Margas, desde una cuenca de subsidencia no compresiva a una cuenca de antepaís en el margen oriental.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir una tipificación litológica sobre la base de perfiles eléctricos y descripción geológica de las unidades pertenecientes a la sucesión sedimentaria
- Caracterizar desde un punto de vista estratigráfico, litológico, distribución de facies y parámetros geomecánicos las unidades de la sucesión sedimentaria
- Comprender el ambiente deposicional de la sucesión sedimentaria en la zona de plataforma y sus variaciones

1.4 Metodología

La metodología utilizada incorpora diversos métodos y tipos de fuentes de información. Su conjunto permite caracterizar y proponer un modelo evolutivo consistente con la secuencia sedimentaria depositada en el periodo de transición entre las cuencas de tras-arco y antepaís.

En este estudio se considera un total de 49 pozos como se muestra en la Figura 2. Los pozos cuentan con diferentes análisis, los cuales son detallados en la Tabla 1 indicado por una X.

Tabla 1. Datos realizados para cada pozo de la cuenca de Magallanes

Pozos	Análisis sedimentológico	Datos petrofísicos	Difracción de rayos x (DRX)	antecedentes sedimentológicos Laboratorio LCV	Reflectancia de Vitrinita	Cálculo de porosidad
Palenque norte 12			X	X		
Teno-1		X	X	X		X
Lautaro Sur-7			X			
Kimiri Aike Sur-3			X	X	X	
Gregorio-1			X	X	X	
Cabaña Norte-1			X	X		
Dorado Sur-12	X	X				X
Las Vegas-9		X				X
Lautaro-13	X	X	X			X
Lautaro-14		X				X
Lautaro Sur-6		X				
Los Morros Este-3		X				X
Madrugada-3		X				X
Paraguay-2		X				X
Paraguay-3		X				X
Paraguay-4		X				X
Punta Baja-14		X				X
Retamos-4		X				
Victoria Este-26		X				X
Cachapoal-1		X				X
Manantiales Oeste-1		X				X
Lago Mercedes-2				X		
Teno-2		X				X
Teno-3		X				X
Fortuna-1		X				X
Fortuna-2		X				X
Arenal Oeste-1		X				X

Araucano-1		X				X
Punta Piedra Oeste-1		X				X
Carmelitas – 2		X				X
Ach.Mag.CrA - 1x		X				X
Ach.Mag.CrB - 1x		X			X	X
Chercan - x1		X				X
Omeling - x1		X				X
Chilco - x1		X				X
Tagua - x1		X				X
Primavera Sur-x1		X				X
Cisne Sur-x1		X				X
Carpintero-x1		X				X
Nika Oeste-1	X				X	
Albatros-6	X					
Flamenco-16	X					
Dicky-1	X					
Monte Aymond-2	X					
Rosal-1					X	
Lircay-1					X	
Carancho-1			X			
Amadeo-1					X	
Dorado-4					X	
total	7	33	8	6	8	31

Recopilación Bibliográfica

En primera instancia se realiza una revisión de los modelos evolutivos que existen para explicar la formación de la cuenca de antepaís. Posteriormente se efectúa la selección de pozos para la descripción de testigos considerando su representatividad y su disponibilidad en la litoteca de ENAP. De esta manera los pozos seleccionados para realizar la descripción sedimentológica corresponden a Albatros-6, Flamenco-16, Dorado Sur-12, Monte Aymond-2, Lautaro-13, Nika Oeste-1 y Dicky-1 (Tabla 1). A partir de ello se recopila sus pruebas de formación de pozos (Drill Steam Test¹) en las formaciones comprendidas entre el Barremiano-Cenomaniano (Formación Lutitas con Ftanitas, Formación Margas y Formación Lutitas Gris Verdosas).

¹ Drill Steam Test: Procedimiento para determinar la capacidad productiva, la presión, la permeabilidad o la extensión (o una combinación de todos estos elementos) de un yacimiento de hidrocarburos (Glossary.oilfield.slb.com, 2018)

Estudio Sismo-estratigráfico

Con el fin de esclarecer el límite temporal en el cual se deposita esta secuencia sedimentaria, se interpreta sísmica 3D del Bloque Dorado-Riquelme y sísmica regional 2D de la cuenca. La ubicación temporal a través de la sísmica se realiza con la proyección de *markers* eléctricos definidos por ENAP en el distrito Springhill. Los *markers* eléctricos corresponden a *peaks* de resistividad que se encuentran en las proximidades de cambios litológicos significativos pudiéndose utilizar como “horizontes guías” como se señala en la Figura 3. De este modo se utiliza como “horizonte guía” el *marker* C1, ubicado entre 5 y 9 m bajo el techo de la Formación Margas.

La interpretación de perfiles sísmicos se realiza a través del software GeoGraphix Discovery. Se seleccionan cinco transectas tanto EW como NS identificando facies sísmicas. Las facies sísmicas son el conjunto de parámetros observables en las reflexiones que forma un perfil sísmico, correspondiente a un estrato o conjunto de estratos determinado. Para su identificación se reconocen patrones de terminaciones de los reflectores tanto, visto desde arriba (onlap o downlap), como desde abajo (toplap o truncamiento erosional), definiendo superficies sísmicas como se muestra en la Figura 4 y con ello facies sísmicas.

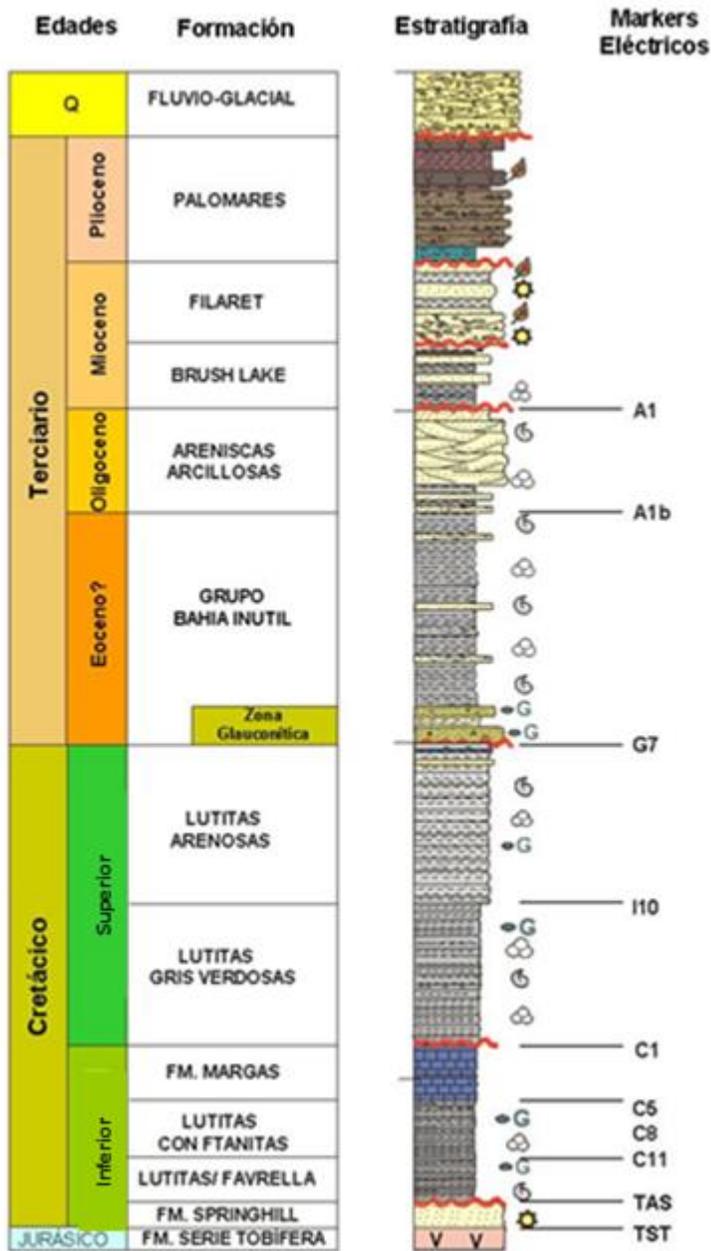


Figura 3. Ubicación de *markers* eléctricos en Cuenca de Magallanes

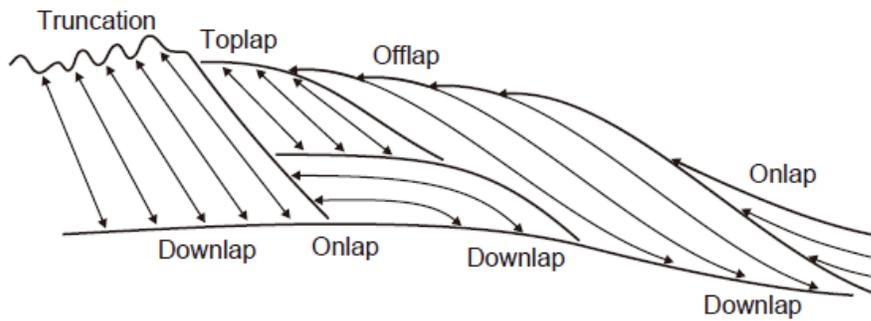


Figura 4. Principales tipos de reflectores sísmicos tomado de Catuneanu (2006)

La identificación de facies sísmicas es la primera aproximación que se hace para identificar la secuencia de transición la cual se detalla en el Capítulo 3 (3.1 Sismoestratigrafía).

Estudio Sedimentológico

Como se mencionó anteriormente (Tabla 1) los pozos seleccionados para hacer el análisis sedimentológico corresponden a Albatros-6, Dicky-1, Dorado Sur-12, Nika Oeste-1, Monte Aymond-2, Lautaro-13, y Flamenco-16. Los pozos Albatros-6, Nika Oeste-1, Flamenco-16 y Lautaro-13 cuentan con testigos de la Formación Lutitas con Ftanitas. Mientras que los testigos de los pozos Dicky-1, Dorado Sur-12 y Monte Aymond-2 corresponden a la Formación Margas.

Para cada pozo se realiza descripción macroscópica del sondaje y descripción petrográfica mediante microscopía óptica de luz transmitida para un total de 17 muestras (M1 a M17) señaladas en la Figura 5. Además a través, del programa Strater 4, se construye columnas estratigráficas para cada pozo estudiado.

Es importante destacar que las muestras fueron clasificadas según la terminología propuesta por Dott, (1964) para rocas clásticas y según Dunham, (1962) para rocas carbonáticas. **Notar que el término “fangolita” se usa como equivalente de Mudrock y hace referencia, como se indica en la Figura 6, a una roca con un porcentaje de matriz mayor o igual a 75%, mientras que el término “mudstone” en esta memoria sólo hace referencia a rocas carbonáticas como indica la Figura 7. Por lo tanto, para efectos de este trabajo fangolita y mudstone no son utilizados como sinónimos.**

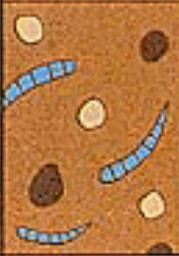
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline
					
Less than 10% grains	More than 10% grains	Grain-supported	Lacks mud and is grain-supported	Original components were bound together	Depositional texture not recognizable
Mud-supported					
Contains mud, clay and fine silt-size carbonate					
Original components not bound together during deposition					
Depositional texture recognizable					

Figura 7. Clasificación de rocas carbonáticas según Dunham (1962)

Análisis Petrofísico

La medición de propiedades de subsuelo se registra a través de perfiles eléctricos desarrollados en 33 pozos (Tabla 1, Figura 2). La Tabla 2 resume los tipos de perfiles petrofísicos utilizados en esta memoria, su propiedad medida e interpretación o cálculo asociado.

Tabla 2. Tipos de perfiles de pozos utilizados, propiedades medidas, y su uso para interpretaciones

Tipo de Perfil	Propiedad medida	Unidad	Interpretación
Potencial Espontáneo	potencial eléctrico natural (relativo a lodo de perforación)	Milivolts	Litología, correlación, análisis de forma de curva, porosidad
Resistividad	Resistencia al flujo de corriente eléctrica	Ohm-metros	Identificación de hidrocarburos
Rayos Gamma	Radioactividad Natural (por ejemplo, relacionado a K, Th, U)	unidades API	Niveles arcillosos, correlación, análisis de cambios
Sónico	Velocidad de onda de sonido compresional y de corte	Microsegundos/metros	cálculo de Modulo de Young y Relación de Poisson
Neutrónica	Concentración de hidrogeno en poros (agua, hidrocarburos)	porcentaje de porosidad	zonas porosas, cross plots con sónico y densidad para

			litología
Densidad	Densidad aparente (densidad electrónica)(incluye fluido de poros en la medición)	Kilogramos por metro cubico (g/cm ³)	Litologías tales como carbonatos compactos

Parámetros Geomecánicos

Dos parámetros utilizados para medir la resistencia de una roca como respuesta a la actuación de fuerzas son: el Módulo de Young y la Relación de Poisson. El Modulo de Young (E), define la relación lineal elástica entre el esfuerzo aplicado y la deformación producida en la dirección de aplicación del esfuerzo, y la Relación de Poisson (ν), define la relación entre la deformación transversal y axial. Una roca dura con comportamiento frágil presenta mayor Módulo de Young y menor Relación de Poisson que una roca blanda con comportamiento dúctil (González de Vallejo, et al., 2004).

En este trabajo se propone una aproximación inicial para determinar las características geomecánicas de las eventuales rocas de reservorio, el cálculo del Módulo de Young dinámico y la Relación de Poisson a partir de los perfiles sínicos de 33 pozos. Los perfiles de velocidad sínica entregan la velocidad de las ondas elásticas; onda compresional (V_p) y onda transversal o de corte (V_s). Luego a través de las ecuaciones ((1) y (2)) y el programa GeoGraphix Discovery se obtiene los valores a lo largo de la zona de estudio.

$$(1) \quad \nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1} \quad \text{Relación de Poisson}$$

$$(2) \quad E = 2\rho V_s(1 + \nu) \quad \text{Módulo de Young}$$

Mapas Isópacos

Un mapa isópaco es un mapa que muestra por líneas de contorno el espesor de una formación o unidad de roca dada. Para construir el mapa isópaco de la zona de estudio se utiliza la base de datos de ENAP. La profundidad de los *markers* C1, C5, y C8 fue colocada sobre un mapa base para luego ser contorneado. La diferencia entre las profundidades C5-C1 (correspondiente a la Formación Margas) y C8-C5 (correspondiente a la Formación Lutitas con Ftanitas) permite obtener el espesor de la secuencia sedimentaria en estudio.

Contenido Orgánico Total (TOC)

El contenido orgánico total en las rocas se mide a partir de 1 gramo de muestras de roca pulverizada que se combustionan y se convierten en CO o CO₂ (Glossary.oilfield.slb.com, 2018). Las fracciones de carbono liberado se miden en una célula infrarroja, se convierte en TOC, y se registran como porcentaje en peso másico de la roca, es decir, un valor del TOC de 1% significa que hay 1 gramo de carbono orgánico en 100 gramos de roca (McCarthy, et al., 2011). Debido a que la secuencia sedimentaria en estudio cuenta con pocos testigos y, por lo tanto, pocas mediciones directas de este parámetro se ha realizado una compilación de 24 muestras pertenecientes al pozo Lautaro-13 (ANEXO 2). Luego se considera la relación existente entre un alto contenido orgánico total y una baja densidad aparente dada por la ecuación (3) permitiendo estimar el contenido orgánico total en el resto de los pozos a partir de datos de densidad aparente.

$$(3) \quad TOC = (-9.9836 * RHOB) + 25.744,$$

donde RHOB=densidad aparente.

Diagrama Mineralógico-ternario

A partir de 8 pozos con datos de difracción de rayos X (DRX) y los porcentajes estimados en la descripción petrográfica para 7 pozos (Tabla 1) se construye un diagrama mineralógico ternario sílice-carbonato-arcilla (Passey et al., 2010) el cual permite predecir de manera cualitativa la resistencia de una roca debido a su mineralogía.

Reflectancia de la vitrinita

La reflectancia de la vitrinita es una herramienta utilizada en la industria petrolera con el objetivo de obtener un indicador de la madurez térmica del kerógeno. La vitrinita es un maceral formado mediante la alteración térmica de la lignina² y la celulosa en las paredes de las células vegetales, presente en muchos kerógenos. Con el incremento de la temperatura, la vitrinita experimenta reacciones de aromatización complejas e irreversibles, registrando la generación, preservación y destrucción del petróleo en las rocas lo que se traduce en un incremento de la reflectancia (McCarthy, et al., 2011). Es así como mediante un microscopio óptico de reflexión se mide el porcentaje de luz reflejada (Ro) de la vitrinita. La medida se presenta en unidades de reflectancia (% Ro), con valores típicos que van desde 0% a 3% Ro (Glossary.oilfield.slb.com, 2018).

² polímero polifenólico que se deposita en las paredes celulares secundarias, y a veces primarias, de las células de las plantas (mmegias.webs.uvigo.es, 2018)

En este estudio se cuenta con un registro de 23 muestras de reflectancia de la vitrinita alrededor del *markers* C5 para 7 pozos a lo largo de la cuenca (Figura 8). Luego, los valores se clasifican en maduración intermedia ($1.1\% < R_0 < 1.5\%$) indicando la presencia de gas con una tendencia creciente hacia la generación de petróleo en el extremo inferior del rango, gas húmedo ($0.8\% < R_0 < 1.1\%$), petróleo ($0.6\% < R_0 < 0.8\%$) o kerógeno inmaduro $R_0 < 0.6\%$ (McCarthy, et al., 2011). Finalmente con la profundidad de las muestras se puede obtener la ventana de generación de petróleo.

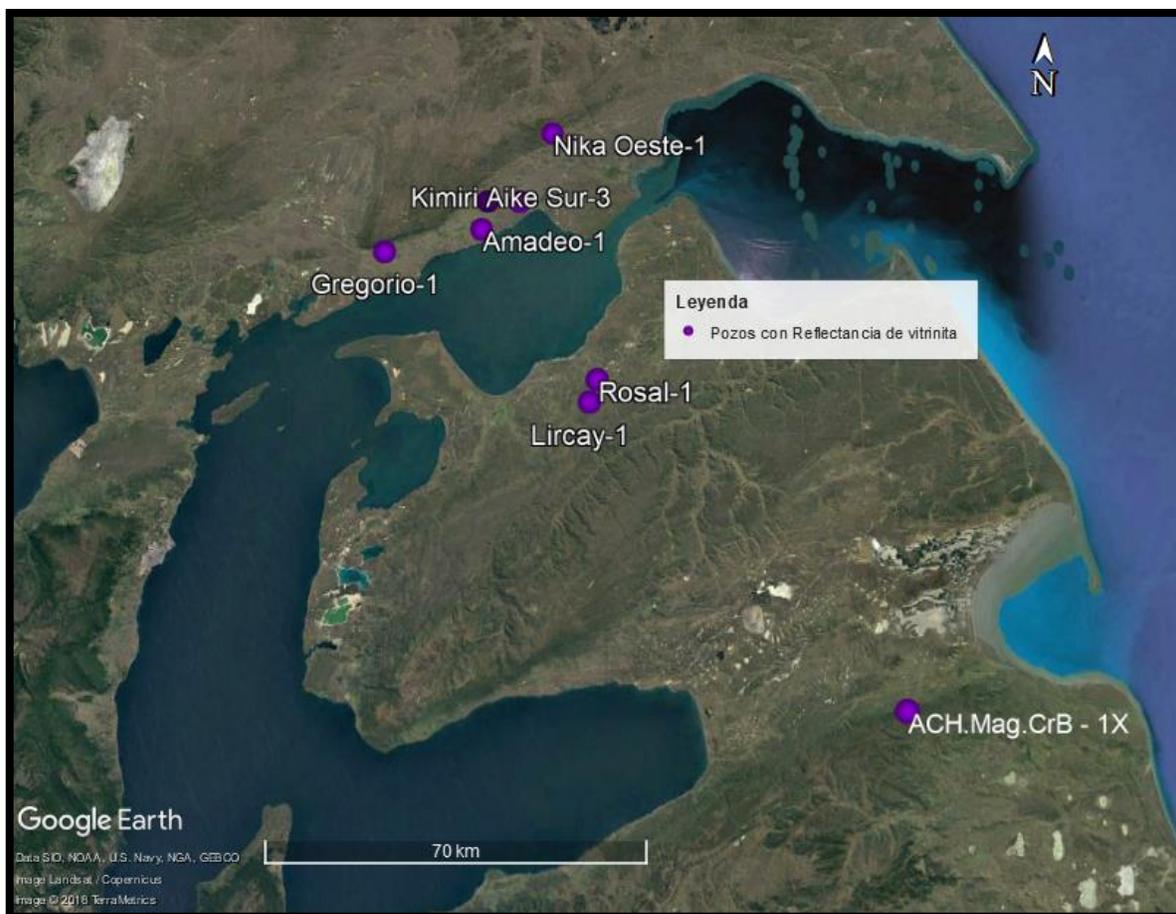


Figura 8. Imagen Satelital de pozos que cuentan con Reflectancia de vitrinita (R_0)

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 Evolución de la Cuenca de Magallanes

Durante el Paleozoico superior - Jurásico medio el basamento evoluciona como un prisma de acreción asociado a un complejo de subducción en el margen Pacífico de Gondwana (Olivero & Martinioni, 2001). Así las rocas del basamento metamórfico paleozoico se extienden en sub-superficie bajo la mayor parte de la Cuenca de Magallanes como esquistos de facies de esquistos azules y de esquistos verdes (Hervé, et al., 1981), mientras que en la zona de plataforma se compone principalmente por gneiss granodioríticos con meteorización intensa previa a su enterramiento (Mella, 2001).

La historia tectónica andina en Magallanes se inicia con los procesos de extensión y volcanismo ácido a gran escala que comprometieron extensas zonas de la Patagonia austral durante el Jurásico medio al Cretácico temprano (Bruhn et al., (1978); Gust et al., (1985); Uliana et al., (1989); Pankhurst et al., (2000)). Este régimen tectónico extensional se instaura, en el dominio oriental con la formación de sistemas de grábenes y hemigrábenes de dirección general N-NW limitados por fallas normales de orientación N-NW a NW (Uliana, et al., 1989). Culmina este régimen tectónico con la ruptura del margen continental sudamericano, en el sector suroccidental del área comprometida en este trabajo, que origina la Cuenca de Rocas Verdes (Dalziel et al., (1974); Suárez & Petigrew, (1976); Dalziel, (1981)).

El piso oceánico ofiolítico de la Cuenca de Rocas Verdes se conecta hacia el sureste con el mar de Weddell y es asociado a ésta cuenca marginal de tras-arco; última expresión de la máxima extensión que experimentó el sur del paleo-continente, estableciéndose así condiciones de margen pasivo en la cuenca (Harambour & Soffia, 1988); (Herrero, et al., 1999)). Sin embargo, existe controversia en la asociación de esta corteza oceánica a una cuenca marginal de tras-arco (Cuenca de Rocas Verdes), principalmente por la falta de evidencia de la existencia de un arco magmático al oeste de esta supuesta Cuenca de Rocas Verdes.

Posteriormente se inicia en la cuenca marginal una etapa de subsidencia termal entre el Jurásico superior y Cretácico inferior, manifestada como una extensa transgresión marina diacrónica. La creación de espacio generada por la subsidencia termal es rellenada con areniscas y arcillolitas fluvio-deltaicas de la Formación Springhill, principal reservorio de la Cuenca de Magallanes, mientras que en las facies más distales comprende limolitas con intercalaciones de calizas ricas en ammonites de la Formación Estratos con Favrella y arcillolitas de la Formación Lutitas con Ftanitas (Bravo & Herrero, 1991).

El colapso tectónico compresional de la Cuenca de Rocas Verdes en el Cretácico superior – Paleogeno (Bruhn, (1979); Dalziel, (1981); Cunningham, (1995)) produce la formación, por carga flexural (Mella, 2001) de la cuenca de antepaís de Magallanes o Austral (Biddle, et al., 1986), con este cambio de régimen tectónico, desde subsidencia

termal a subsidencia en compresión, se marca el cierre de la cuenca marginal (Cuenca de Rocas Verdes) y el comienzo de la inversión tectónica.

Finalmente, uno de los últimos eventos tectónicos corresponde al alzamiento de la protocordillera patagónica andina, cuya erosión y emplazamiento hacia el este, produjo una compensación flexural en la corteza; y junto a ello, la creación de la cuenca de antepaís hacia el este y norte, actual Cuenca de Magallanes (Biddle, et al., (1988); Mella, (2001)), acompañada por una extensa antefosa situada, entre el frente de deformación cordillerano y la plataforma adosada a la dorsal de Río Chico.

A medida que la cuenca fue comprimida, se produce fallamiento inverso y plegamiento de la cobertura sedimentaria, dando origen a la faja plegada y corrida de Magallanes.

En la Figura 9 se muestra la evolución de la Cuenca de Magallanes descrita por Mpodozis (2004) en la cual divide los casi 7000 m de relleno sedimentario en cinco secuencias mayores. Este trabajo se centra en las unidades entre la fase de antepaís y la fase llamada SAG, la cual agrupa las facies de subsidencia termal acumuladas entre el Kimmeridgiano y el Turoniano, con posterioridad a la ruptura cortical que originó la Cuenca de Rocas Verdes. Sin embargo, se propone incorporar una secuencia de transición de edad Aptiano-Cenomaniano (?), con el fin de diferenciar las secuencias de subsidencia termal “fuerte” SAG de aquellas depositadas en una etapa de disminución de subsidencia termal y últimos depósitos de relleno de la cuenca de Rocas Verdes.

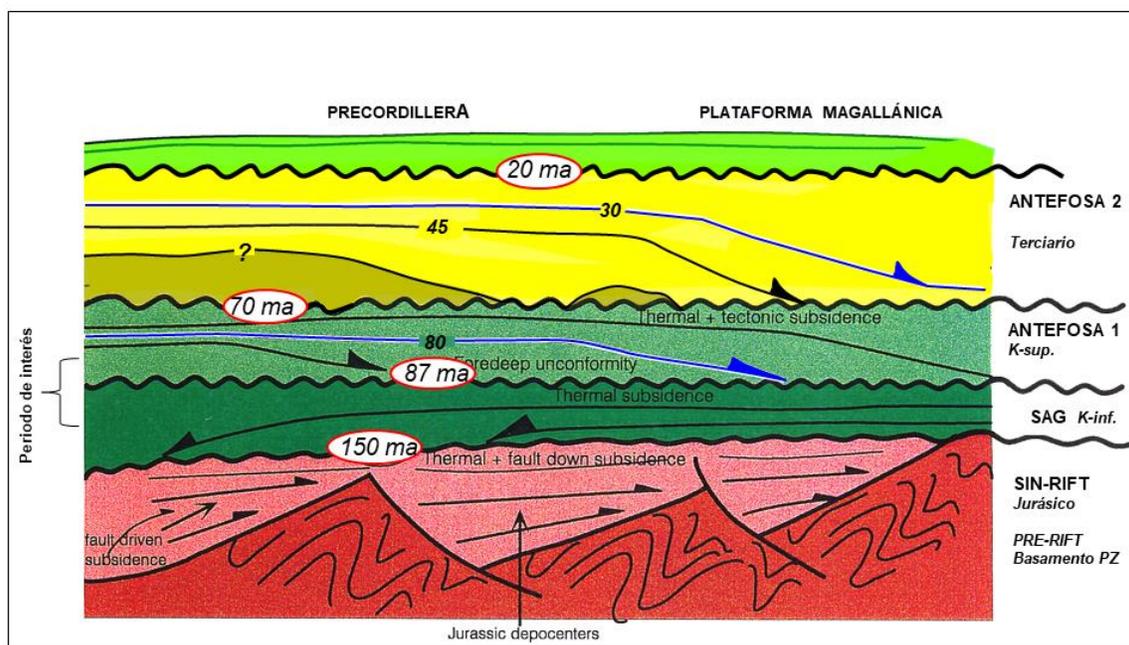


Figura 9. Carta cron-estratigráfica ilustrando las diferentes etapas en la evolución de la Cuenca de Magallanes. Modificado de Mpodozis, (2004).

2.2 Estratigrafía

La sucesión estratigráfica que representa y enmarca el periodo de transición entre la cuenca de post rift y la cuenca de antepaís de Magallanes, ha sido descrita en diferentes sectores de la cuenca por las formaciones que se describen a continuación. La Figura 10 muestra el cuadro estratigráfico con la nomenclatura formacional que incorpora las modificaciones propuestas por Fildani, et al., (2003) y Mpodozis (2006) a partir de las edades de las formaciones Punta Barrosa y Canal Bertrand, respectivamente. Los límites que recogen estas modificaciones se indican en color rojo. **Respecto a las formaciones que son objeto de estudio, sólo se señala la descripción existente hasta la fecha sin incorporar su interpretación paleoambiental, ya que ésta será expuesta posteriormente en las discusiones de este informe.**

La nomenclatura formacional está en permanente revisión porque la mayor parte de ella proviene de un entendimiento parcial, no integrado, para la descripción de las unidades litológicas en la extensa cuenca. Por otra parte, los trabajos a escala de cuenca que intentan vincular la evolución de la cuenca con complejos procesos tectónicos que suponen la organización de variedad de sistemas depositacionales, han permitido avanzar en un análisis más moderno de la cuenca. Asimismo en este proceso se ha ido sumando información relacionada a la datación de rocas a partir de zircones, modificando con ello muchas de las correlaciones a escala de cuenca (Mpodozis, 2006).

Por la razón anterior se ha incorporado en la sección siguiente, la descripción de las unidades formacionales separadas en 4 sectores: Sector 1 Última Esperanza, Sector 2 Península Brunswick e Isla Riesco, Sector 3 Distrito Springhill (subsuelo) y Sector 4 Tierra del Fuego (Chile) (Figura 11) con base predominante litológica, para intentar avanzar en el entendimiento de la sección estratigráfica de transición en el área de este trabajo, donde aún no existe un estudio sistemático que avalen edades, proveniencia de sedimentos y mecanismos de dispersión.

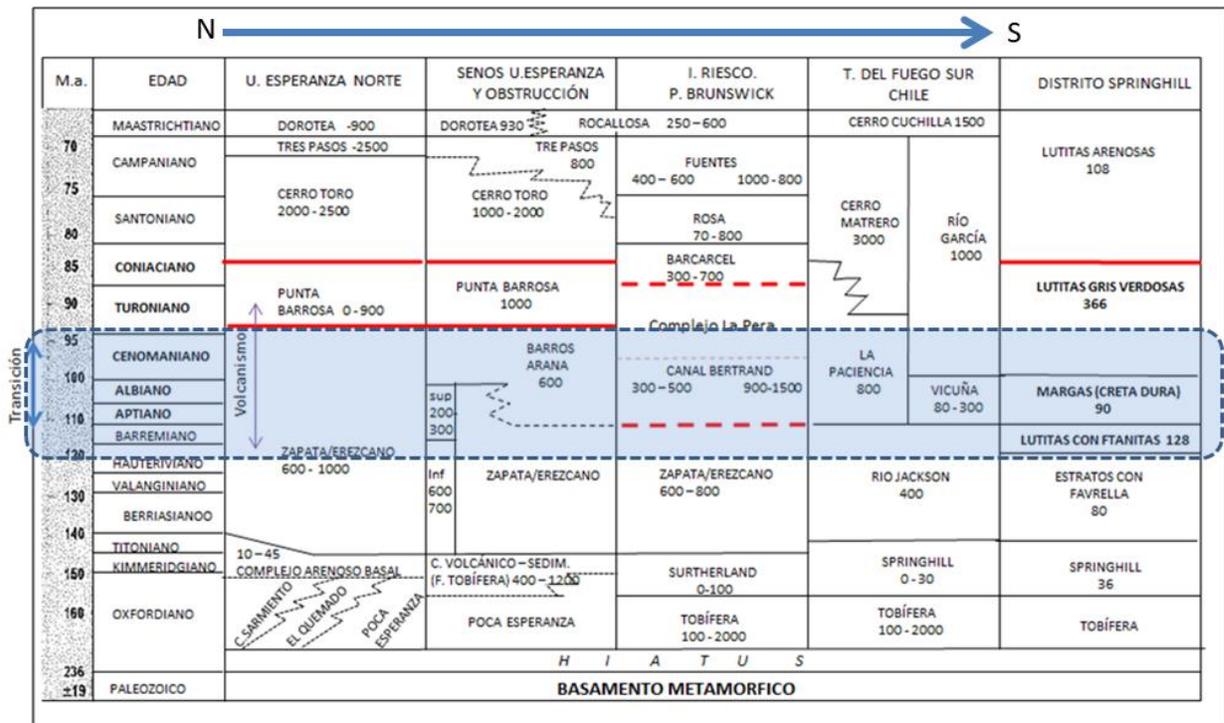


Figura 10. Cuadro estratigráfico Jurásico superior – Cretácico. Tomado de Cañon (2000), modificado incorporando los cambios propuestos por Mpodozis (2006), y Fildani et al., (2003).

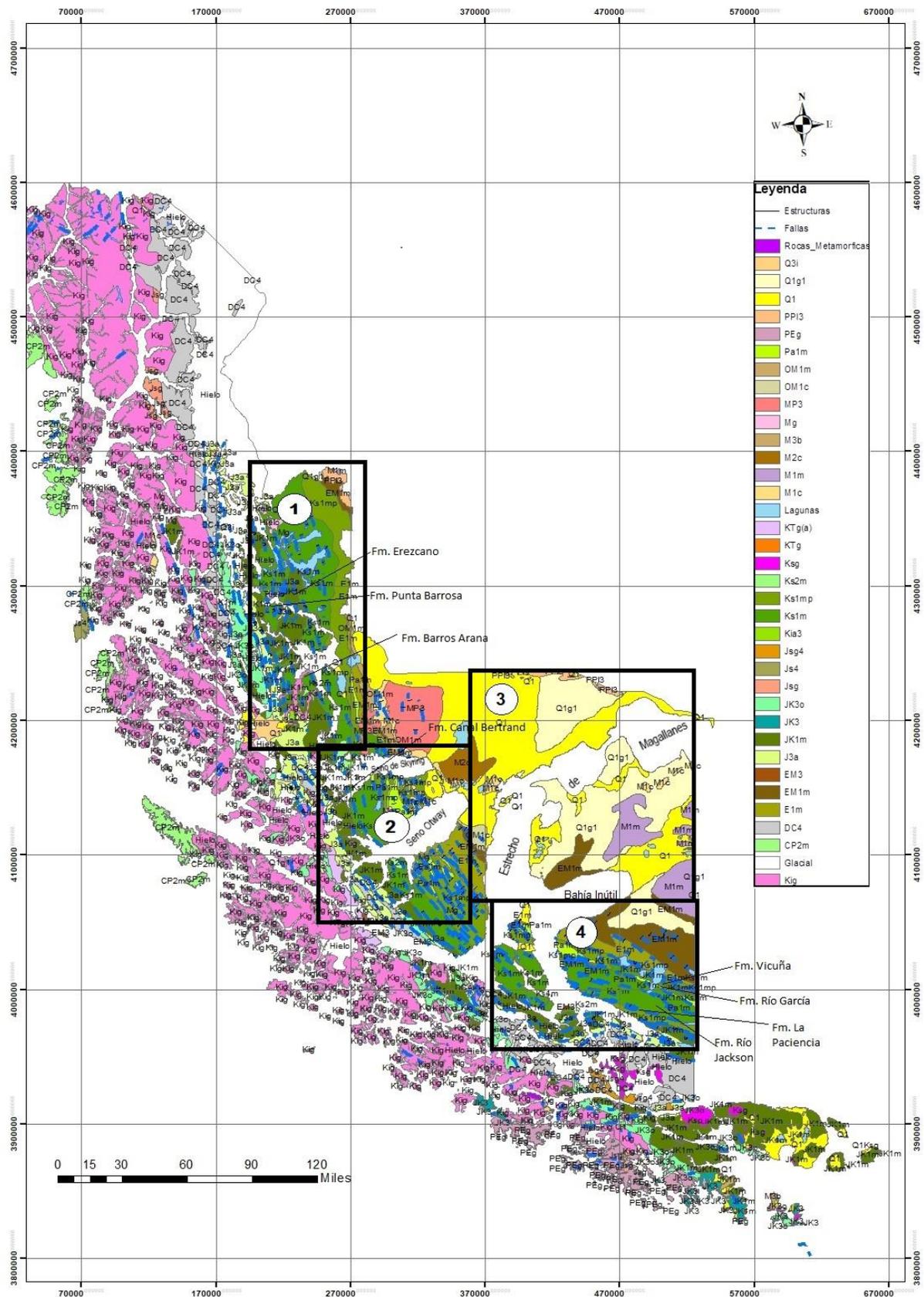


Figura 11. Mapa Geológico proporcionado por ENAP incorporando ubicación aproximada de los sectores y afloramientos mencionados en la estratigrafía: Sector 1 Última Esperanza, Sector 2 Península Brunswick e Isla Riesco, Sector 3 Distrito Springhill (subsuelo) y Sector 4 Tierra del Fuego (Chile). Detalle de Leyenda es presentado en el ANEXO 1.

Sector 1: Última Esperanza

2.2.1 Formación Punta Barrosa

Es definida por Katz (1960) como una sucesión de areniscas finas a gruesas con alternancias de lutitas. Posteriormente, Fildani et al., (2009) la dividen en los miembros inferior y superior. De acuerdo con su descripción, Punta Barrosa inferior se caracteriza por capas delgadas de arenisca finas con laminación paralela pasando a ondulitas y posteriormente a limos laminados y fangolitas con capas de un grosor de pocos centímetros a unas pocas decenas de centímetros. Punta Barrosa superior es caracterizada por areniscas masivas concentradas en discretos paquetes alternando con capas delgadas de areniscas de grano fino, limolita y arcilla.

Los depósitos de la formación son diacrónicos, la edad decrece de norte a sur 99-94 Ma en el sector argentino de la cuenca, (Malkowski, et al., 2015) a 92-85 Ma en el distrito Última Esperanza de Chile (Fildani, et al., 2003)

Interpretación paleoambiental

Cortés (1964) sugiere un origen turbidítico para la Formación Punta Barrosa, y determina que el depósito del flanco occidental de la cuenca habría recibido aporte de sedimentos desde el norte, mientras que, sobre la base de indicadores de paleo-corrientes, Fildani & Hessler (2005) determinan una dirección de aporte desde el noroeste. El origen de estos depósitos se relaciona al levantamiento y deformación orogénica de la cordillera principal de los Andes (Wilson, 1991). La petrografía y el análisis de proveniencia, sugieren que los principales componentes del depósito son las rocas ígneas y metamórficas, pertenecientes al orógeno fallado y plegado. Por lo tanto, los depósitos de esta unidad formacional marcan el inicio del desarrollo de la faja plegada y corrida de Magallanes (Fildani & Hessler, 2005) y la cuenca de antepais asociada.

2.2.2 Formación Barros Arana

Definida por Prieto (1992) como una sucesión de rocas volcánicas y volcanoclásticas básicas a intermedias que afloran al sur del Golfo Almirante Montt, península Barros Arana, con un espesor estimado de 600 m. Se ha subdividido en dos miembros: el miembro inferior consiste en basaltos a andesitas basálticas de piroxeno en su base y sobre ella, brechas volcánicas macizas. Mientras que el miembro superior, está compuesto por una alternancia de psamitas (areniscas y grauwackas de grano grueso a fino) y pelitas (lutitas y limolitas) que se disponen en un arreglo grano y estrato decreciente (Prieto, (1994); Soffia, (1988)).

La edad de la formación ha sido determinada a partir de dataciones radiométricas las cuales indican 104 Ma (Stern, 1991). A partir de su edad y las observaciones de Soffia & Harambour, (1988), se acepta que esta formación engrana lateralmente con parte del miembro superior de la Formación Erezcano (Aptiano-Albiano) y es correlacionable litológicamente con el Complejo La Pera que se expone en Seno Skyring.

Interpretación paleoambiental

Stern et al., (1991) interpreta los basaltos (shonshonitas máficas) de la Formación Barros Arana como parte de los arcos volcánicos formados en subducción, los cuales presentan afinidades débilmente alcalinas. Prades (2008) interpreta que podrían haber sido producto de la disminución de ángulo de subducción, lo que finalmente condujo a la iniciación del cierre, deformación y alzamiento de la cuenca marginal Rocas Verdes en el Albiano tardío. Razones iniciales bajas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.7031) y altas de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (0.51277) en los basaltos sugieren que durante el periodo de erupción de ellos un régimen de carácter extensional, al este del arco primordialmente calco-alcalino, permitió que estas shonshonitas máficas alcanzaran la superficie sin interacción con la corteza continental que caracteriza la petrogénesis de los plutones contemporáneos del batolito Patagónico. Por otro lado, Prieto (1994) señala que la Formación Barros Arana se habría depositado en un ambiente sub-aéreo que evolucionó a marino somero, con la disminución de la actividad volcánica, lo que lleva a sugerir que la Formación Barros Arana representa los aportes de un volcanismo básico shoshonítico desarrollado puntualmente en una cuenca somera de tras-arco.

2.2.3 Formación Erezcano

Definida por Cecioni (1955) como una sucesión de sedimentos pelíticos, limolíticos y arenosos; depositados en forma concordante sobre la Formación Sutherland. Esta formación infrayace a la Formación Canal Bertrand. Moraga (1986) la subdivide en dos miembros siendo de interés para este trabajo el Miembro Erezcano Superior. El Miembro Erezcano Inferior consiste en limolitas y areniscas tobáceas laminadas y areniscas medias con un espesor que bordea entre 300 a 500 m (Mella, 2001).

En las costas de Seno Otway se encontró *Inoceramus aff. Seude steinmanni*, *Belemnopsis sp.*, *Favrella americana*, *Favrella wilckensis* y *Peltocrioceras deecke*, lo cual le asigna al Miembro Erezcano Inferior una edad Berriasiano-Aptiano. Por otro lado, el Miembro Erezcano Superior tiene una intercalación de limolitas bioturbadas con areniscas tobáceas blancas de similar espesor que el Miembro Erezcano Inferior (Mella, 2001). A este se le asigna una edad Aptiano - Albiano a partir de la identificación de *Aucellina cf. Radiostrata* (Riccardi, 1990).

Interpretación paleoambiental

Mella (2001) señala que el Miembro Erezcano Inferior se habría depositado en ambientes de plataforma de baja energía. Mientras que el Miembro Erezcano Superior

correspondería a depósitos transgresivos que, hacia el techo, registran un episodio de menor espacio de acomodación en una plataforma silico-clástica somera, como consecuencia de una disminución en la velocidad de subsidencia.

Sector 2: Península Brunswick e Isla Riesco

2.2.4 Formación Canal Bertrand

Definida por Castelli et al., (1992) como una secuencia constituida de litofacies de turbiditas y alternancias de areniscas y limolitas. Esta unidad aflora en ambas costas del Canal Bertrand, en isla Latorre, fiordo Las Rucas y estero La Pera. Se dispone en aparente concordancia estratigráfica sobre el techo de la Formación Erezcano. El sector interno (occidental) del Seno Skyring (zona de Fiordo Riquelme-Isla Larga) está constituido por una secuencia rítmica de areniscas y lutitas afectadas por pliegues apretados de escala decamétrica, en general con vergencia al este y un intenso y penetrativo clivaje (Mpodozis, 2006). Por otro lado, Castelli, et al., (1992) describe de base a techo complejos de areniscas finas a muy finas a pelitas con una relación arena/pelita ~ 1 que, hacia arriba, pasan a una serie de alternancia de areniscas con gradación normal y pelitas con bancos tabulares, dispuestos con base planar o erosiva, la relación arenisca/pelita > 2 . Finalmente hacia el techo se interdigita con 400 m de lavas y rocas volcanoclásticas (Complejo La Pera, (Céspedes, 1963).

Su edad fue propuesta entre el Aptiano-Albiano por Castelli et al., (1992) debido a la ocurrencia de bivalvos que fueron clasificados por Riccardi (1990) como *Aucellinacf. radisotrata* y *Aucellina andina* y por Covacevich (1991) como (*Aucellinasp.*). Posteriormente, Mpodozis (2006) realiza datación en circones detríticos e indica entre 114 Ma a 98 Ma, edad de máxima de depositación (~Albiano-Cenomaniano inferior). Mientras que en su parte superior; Complejo La Pera, se han encontrado formas de *Inoceramusteshioensis*, *Inoceramussp. madagascariensis* (Riccardi, 1990) e *Inoceramuscfandinus* (Covacevich, 1991) que indicarían una edad Turoniana.

Interpretación paleoambiental

De acuerdo a las direcciones de paleo-corrientes que indican aportes detríticos desde el norte para los niveles inferiores y de oeste hacia el este para los superiores (Castelli, et al., 1992), se ha interpretado que esta unidad representa la depositación en un ambiente que permite la generación de lóbulos turbidíticos, que provenían desde el norte y cuyo transporte se efectuaba paralelo al eje N-S de la cuenca. Hacia el techo, la unidad posee una asociación de facies más proximal y presenta una mayor proporción arenosa, donde abundan conglomerados finos asociados a canales de fondo, lo cual indica una reactivación del sistema turbidítico. Mella (2001) señala que durante el Aptiano se producirían cambios en las condiciones tectónicas de carácter regional que originaron el alzamiento y erosión de rocas de basamento y de la serie Tobífera,

sedimentos que luego serían transportados como corrientes turbidíticas, hacia el fondo de la cuenca cretácica.

Sector 3: Distrito Springhill (subsuelo)

2.2.5 Formación Lutitas Gris Verdosas

Definida por Mordojovich (1951) como arcillolitas con escasas intercalaciones calcáreas que suprayace concordantemente a la Formación Margas e infrayace también concordantemente a la Formación Lutitas Arenosas. Corresponde a arcillolitas gris verdosas y limolitas con escasas intercalaciones de niveles calcáreos ricos en bivalvos y foraminíferos, cuyo espesor varía entre 270 y 400 m. Su edad se atribuye al Albiano – Santoniano.

2.2.6 Formación Margas

Definida por Mordojovich (1948) como la unidad lito-estratigráfica para el subsuelo, compuesta por margas. Suprayace concordantemente a la Formación Lutitas con Ftanitas e infrayace concordantemente a la Formación Lutitas Gris Verdosas. Su litología corresponde a margas de color gris clara silíceas y arcillolitas calcáreas verdosas y rojizas, con un espesor entre 60 a 130 m. Su edad ha sido asignada al Aptiano –Albiano, sobre la base de sus relaciones estratigráficas y por el contenido fosilífero si bien abundante, de amplia dispersión biocronológica.

2.2.7 Formación Lutitas con Ftanitas

Definida por Mordojovich (1951) como una sucesión de arcillolitas grises que sobreyacen a la Formación Estratos con Favrella y subyace a la Formación Margas. La formación se encuentra principalmente compuesta por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de lutitas y ftanitas con abundante fauna de radiolarios, además de escasas intercalaciones de limolitas y areniscas finas. La secuencia varía entre 80 y 170 m de edad Barremiano – Aptiano.

2.2.8 Formación Estratos con Favrella steinmanni

Definida por Cecioni, 1955 como una unidad litoestratigráfica de subsuperficie, cuya base engrana lateralmente con el techo de la Formación Springhill. Corresponde a una secuencia transgresiva, compuesta de limolitas gris parduzcas con intercalación de calizas muy rica en ammonites (género *Favrella*) y foraminíferos, cuyo espesor varía entre 10 y 300 m (Mella, 2001). Su edad ha sido asignada al Hauteriviano-Barremiano (Cecioni, 1955).

Interpretación paleoambiental

Las asociaciones micrafaunales encontradas en la unidad y el engrane lateral que presenta con las areniscas transgresivas de la Formación Springhill, permite interpretar que la secuencia se depositó bajo condiciones marinas de plataforma (Rodgers en Mobil, 1979; Biddle, et al., 1986)

Sector 4: Tierra del Fuego Sur (Chile)

2.2.9 Formación Río García

Definida por Cortés & Valenzuela (1960) como una sucesión de bancos tabulares de limolitas arcillosa negras, en parte calcáreas, con abundantes intercalaciones de tobas finas, y algunas de areniscas laminadas y calcáreas. Se le asigna una edad Cenomaniano(?) - Campaniano. La formación se deposita concordantemente sobre la Formación Vicuña e infrayace a la Formación Cerro Cuchilla.

Interpretación paleoambiental

Ha sido interpretada como depósitos de limos y arcillas en suspensión en un ambiente de plataforma externa al borde de talud, de aguas quietas, a mayor profundidad que la Formación Vicuña y con pendiente suave hacia el SW.

2.2.10 Formación Vicuña

Definida por Barwick (1951) como una secuencia de margas verdes y rojizas abigarrada. Se apoya concordantemente y en forma transicional sobre la Formación Río Jackson, y está cubierta concordantemente por la Formación Río García en el área de Lago Blanco. Se le atribuye una edad Aptiana-Albiana (Rojas & Harambour, 1993), y está constituida por limolitas calcáreas y coquinas, con intercalaciones de niveles tobáceos. Respecto a su contenido fósil, contiene abundantes pelecípodos tales como *Inoceramus*, *Aucellina Andina*, *A. Bonarelli*, *A. Caucásica*, y *Gryphaea*. Otros fósiles presentes son Belemnites, Crinoides, Corales, Anélidos, y *Cardiaster* (Valenzuela & Cortés, 1960).

En el sector norte del área de Lago Blanco, la Formación Vicuña ha sido subdivida en dos secciones; la sección basal, formada por alternancia de limolitas calcáreas muy glauconíticas, con laminación paralela y ondulada suave además de una fuerte bioturbación horizontal. Intercaladas aparecen capas centimétricas de tobas y areniscas tobáceas blaquecinas con deformación tixotrópica., La sección superior, por otro lado se compone de bancos decimétricos de limolitas calcáreas macizas con intensa bioturbación horizontal que destruye las estructuras sedimentarias y que da a la roca un aspecto moteado (Rojas & Harambour, 1993)

Interpretación paleoambiental

Esta formación se ha interpretado como depósitos de suspensión en un ambiente de plataforma interna somera, de aguas más o menos templadas, debido a sus sedimentos finos con ausencia de elementos gruesos, bancos de coquinas de *Inoceramus* y la presencia de caliza. Las coquinas representarían flujos de detritos gatillados por olas de tormenta que habrían removido fuertemente el fondo, mientras que la presencia de caliza correspondería a un pequeño mount calcáreo con plataforma de extensión limitada (Valenzuela & Cortés, 1960).

2.2.11 Formación La Paciencia

Definida por Valenzuela & Cortés (1960). Se describe constituida por limolitas grises a negras, con frecuentes concreciones calcáreas e intercalaciones de areniscas tobáceas finas. Hacia su sección superior aparecen bancos de arenisca fina intercalados.

Se dispone concordantemente entre las formaciones Cerro Matrero y Río Jackson. Su espesor estimado es de 800 m en la sección expuesta en la localidad de La Paciencia con una edad Aptiano – Coniaciano(?) determinada por el contenido faunístico (Cañon, 2000)

Interpretación paleoambiental

Se habría acumulado en una zona más externa de la plataforma, probablemente en las cercanías del talud abierto hacia la Cuenca de Rocas Verdes, al mismo tiempo que el dominio sedimentario recibía una lluvia de fino material piroclástico (Harambour, et al., (1989); Rojas & Harambour, (1993); Alvarez-Marrón (1993))

2.2.12 Formación Río Jackson

Definida inicialmente por Cortés & Valenzuela (1960) corresponde a una alternancia fina de limolitas arcillosas negras, areniscas finas tobáceas, gris-verdosas y tobas blanquecinas que cubren concordantemente a la Formación Springhill y es cubierta por la Formación Vicuña. Se le asigna una edad comprendida entre el Hauteriviano y el Aptiano.

Las areniscas tobáceas y las tobas, se presentan en capas con gradación normal, de base neta y con un paso gradacional hacia arriba de las capas limosas. Es común la presencia de pirita y de estructuras de deformación sinsedimentaria (microfallamiento normal, marcas de carga) y tixotrópica. El contenido volcánico-clástico de esta formación, es de aproximadamente un 50% en el área del Seno Almirantazgo y disminuye gradualmente hacia el norte hasta alcanzar un 10 a 20% en el área de Vicuña (Rojas & Harambour, 1993)

Interpretación paleoambiental

Rojas & Harambour, (1993) señalan que corresponderían a depósitos formados por la decantación de limos y arcillas en una plataforma offshore de aguas tranquilas, en un ambiente anóxico a una profundidad bajo el nivel base de las olas de tormentas. La sedimentación limosa fue constantemente afectada por la caída de piroclastos en suspensión, asociados a una probable actividad volcánica, situada al suroeste del área, durante el Cretácico Inferior.

2.3 Antecedentes de descripciones litológicas

Con el fin de caracterizar, al menos litológicamente las formaciones Lutitas Gris Verdosas, Lutitas con Ftanitas y Margas se han solicitado anteriormente diversos trabajos al laboratorio LCV. Sin embargo, no existe claridad en la proveniencia y las características depositacionales que dieron origen a éstas formaciones. Los pozos con los cuales se cuenta información ya sea de cutting o de testigos se indican en la Figura 12 y corresponden a: *Teno-1*, *Lago Mercedes-2*, *Cabaña Norte-1*, *Palenque Norte-12*, *Gregorio-1* y *Kimiri Aike Sur-3*. A continuación se resumen los estudios e interpretaciones que se han realizado hasta la fecha para las Formación Lutitas Gris Verdosas, Formación Lutitas con Ftanitas y Formación Margas.

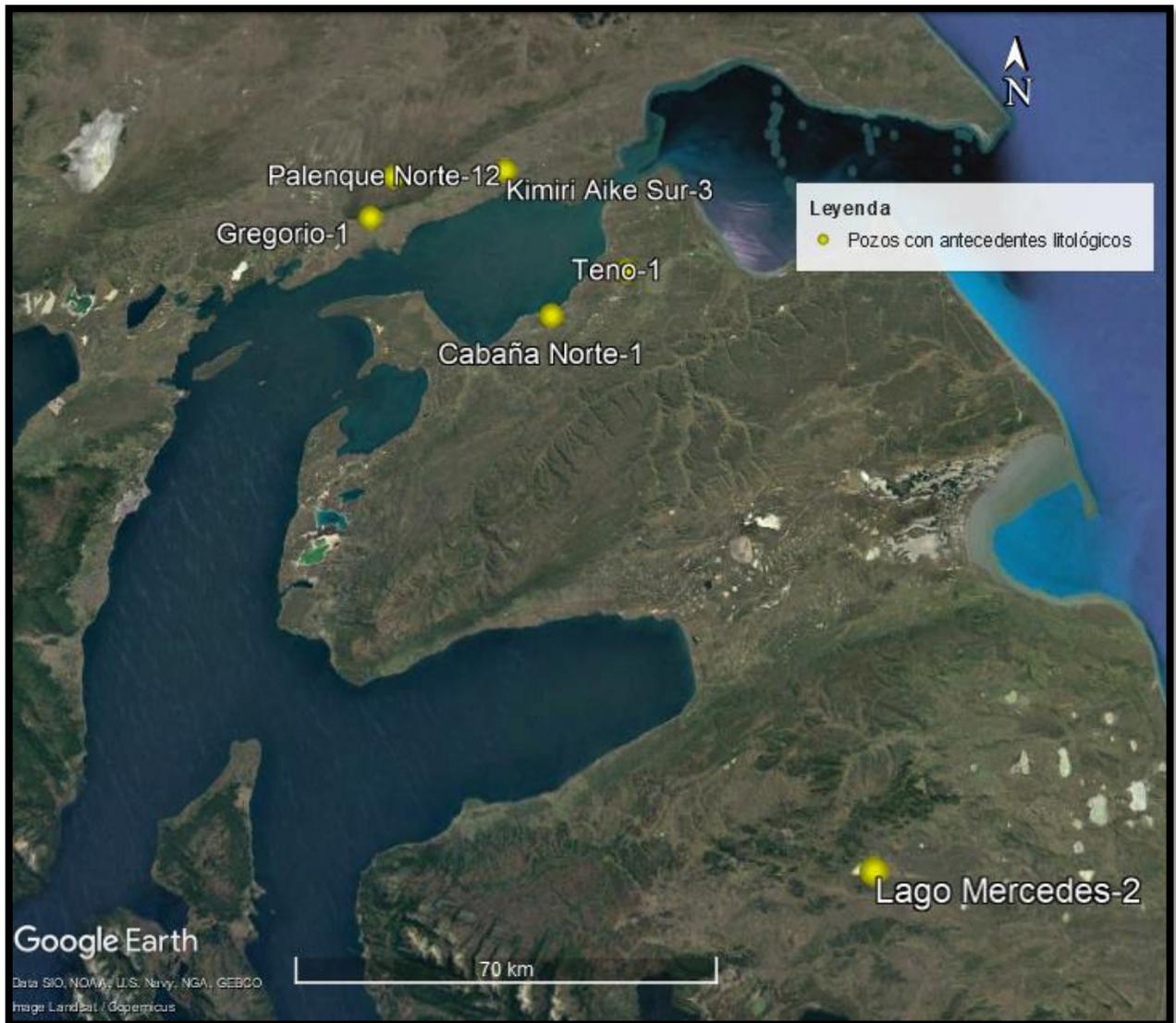


Figura 12. Imagen satelital indicando la posición de los pozos con los que se cuenta descripciones litológicas detalladas realizadas por el laboratorio LCV.

De los pozos mencionados, Lago Mercedes-2 es un buen representante de la zona sureste de la plataforma, en la cual se han definido al menos tres litofacies para la Formación Lutitas con Ftanitas y la Formación Margas (3615,00- 3633,70 m) estas son: fangolitas calcáreas, fangolitas calcáreas y carbonáticas; y por último, fangolitas con arcilita. En general este tramo presenta abundante fauna así como icnogéneros. La fauna está representada por fragmentos de Inoceramus y de pelecípodos indiferenciados junto a restos de belemnites. Respecto a los icnofósiles se reconocen Teichichnus, Planolites, Palaeophycus, Chondrites, Thalasinoides entre otros. A esto se suma la presencia de briznas de carbón y pirita framboidal en la facies de fangolita con arcilita. En base a estos antecedentes el laboratorio interpretó esta secuencia fangosa como un depósito ocurrido en condiciones de plataforma externa. Las facies señaladas se asocian a un medio de baja energía y dominado por procesos de decantación, dónde el evento de mayor energía relativa sería el responsable de los aportes de material

desde la plataforma interna, representado por bioclastos (algunos retrabajados), los cuales se podría asociar a la sección distal de flujos turbidíticos.

Los pozos Teno-1 (2095-2315 m), Cabaña Norte-1 (2675-2945 m), Palenque Norte-12(3600-3850 m), Gregorio-1 (3493-3745 m), Kimiri Aike Sur-3 (2731,5-3001,5 m) añaden nuevos antecedentes a las fangolitas de la Formación Lutitas con Ftanitas y la Formación Margas que resulta interesante de destacar, y es la presencia de material piroclástico. Por ejemplo para los pozos Teno-1, Palenque Norte-12. Kimiri Aike Sur-3, Cabaña Norte-1 se señala delgados niveles de tobas y/o fangolita tobácea. Esta información podría ser de utilidad para asociar, al menos en la zona norte de la plataforma, actividad volcánica coetánea a la depositación. En estos pozos también se reconocen fangolitas bioclásticas que presentan abundantes fragmentos de radiolarios y valvas de pelecípodos, junto a pirita diseminada, que en informes previos se ha interpretado como aumento en la frecuencia de eventos originados posiblemente por corrientes de turbidez desde sectores más someros hacia más profundos. La información aquí entregada concuerda por lo señalado por Mpodozis, et al. (2011) para el borde interno de la Plataforma Magallánica donde señala que durante el Aptiano-Cenomaniano se produjo somerización del ambiente depositacional y participación de material piroclástico distal.

En relación a la Formación Lutitas Gris Verdosas, la disponibilidad de testigos es más acotada por no ser un intervalo de interés petrolero. Para esta formación se cuenta con información de los pozos Teno-1 (2094-2040 m), Cabaña Norte-1 (2620-2675 m), Gregorio-1 (3485-3385 m) y Kimiri Aike Sur-3 (2724-2673 m).

El pozo Teno-1 es el único que en testigos tiene intercalaciones de tobas junto a sus fangolitas, condición que permite afirmar actividad volcánica coetánea con la sedimentación. Las características litológicas y faunísticas de esta unidad son similares a las descritas para la Formación Lutitas con Ftanitas y la Formación Margas por lo que también se interpreta como paleo-ambiente marino de plataforma externa, cabe señalar que debido a su mayor contenido de depósitos arcillosos y una disminución en la cantidad de niveles bioclásticos o de mayor granulometría se deduce un mayor grado de profundización.

Los pozos Cabaña Norte-1, Gregorio-1 y Kimiri Aike Sur-3 no presentan niveles de tobas ni depósitos volcanoclásticos que permitan afirmar actividad volcánica coetánea. Su litología está básicamente conformada por fangolitas y fangolitas bioclásticas, escasos niveles de fangolitas arcillosos y limolitas, que presentan un contenido de pirita moderado a abundante; y un leve aporte calcáreo. De las características litológicas y faunísticas similares entre las formaciones Lutitas con Ftanitas y Margas, se interpreta como una plataforma externa con mayor grado de profundización por las mismas razones señaladas para el pozo Teno-1.

3. RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados para las diversas metodologías expuestas en el subcapítulo 1.4 para las formaciones Margas y Lutitas con Ftanitas. Los resultados se han separados de acuerdo a las siguientes secciones: (1) Estudio Sismo-estratigráfico; (2) Análisis Sedimentológico; (3) Descripción de formaciones e interpretación; (4) Análisis Petrofísico; (5) Geoquímica Básica; (6) Diagrama mineralógico-ternario; (7) Parámetros Geomecánicos y (8) Mapas Isópacos.

3.1 Estudio Sismo-estratigráfico

El estudio de los rasgos estratigráficos y su asociación a facies sedimentarias se lleva a cabo, en primera instancia a partir de perfiles sísmicos. La interpretación de perfiles sísmicos se realiza con la información disponible de sísmica 3D, de gran extensión y buena calidad en el Bloque Dorado Riquelme (sector continental norte de Magallanes); y sísmica regional 2D dispersa a través de gran parte de la cuenca de Magallanes (Figura 13).

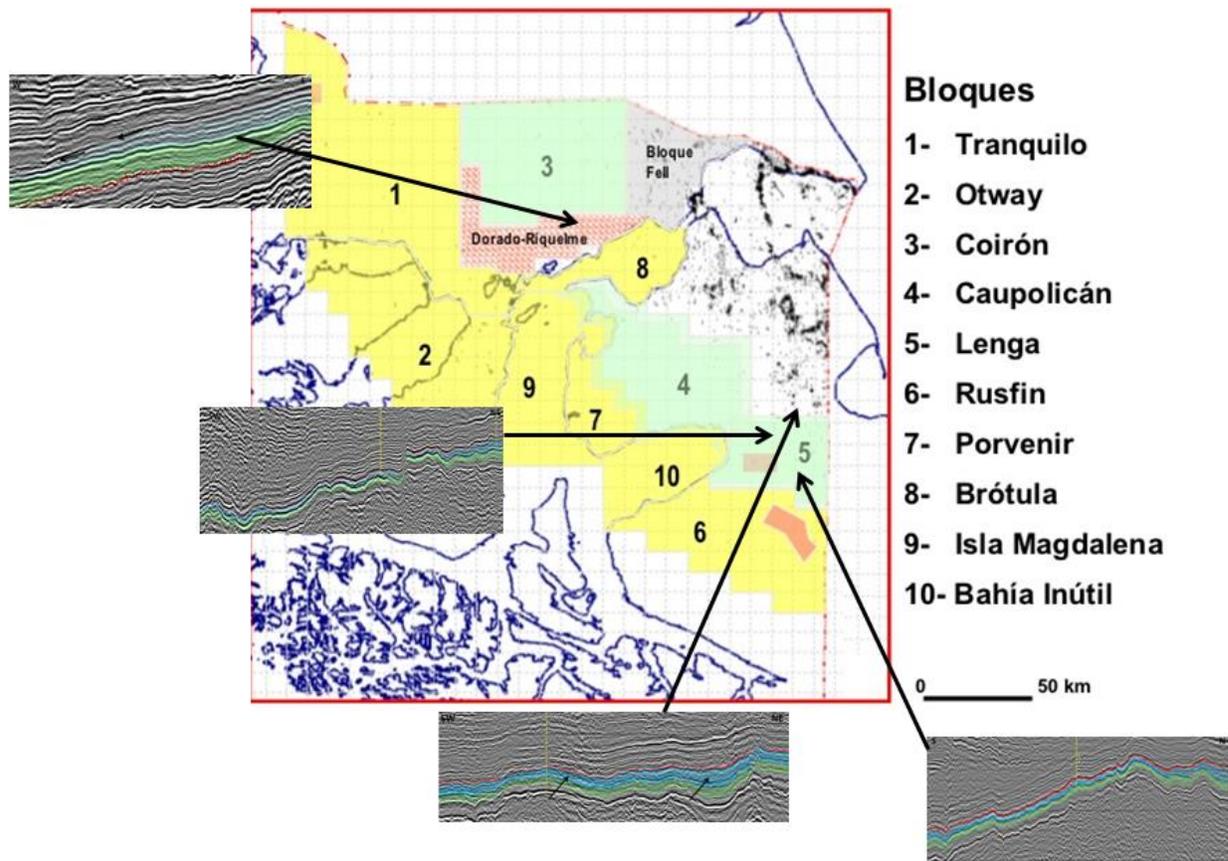


Figura 13 Ubicación de sísmica 3D Bloque Dorado-Riquelme y sísmica 2D al oriente de la cuenca de Magallanes.

De acuerdo al procedimiento señalado en el subcapítulo 1.4 (metodología) se utiliza como “horizonte guía” el *marker* C1. El *marker* C1 se reconoce en la parte norte y sureste de la cuenca permitiendo ubicar la sucesión sedimentaria de interés a lo largo de esta. Una vez identificada la sucesión sedimentaria se interpreta las facies sísmicas que le componen. En este caso se reconocen dos facies sísmicas a lo largo de la cuenca, nombradas como facies sísmica A y facies sísmica B.

La facies sísmica A se encuentra limitada por el *marker* I10 superiormente e inferiormente por el *marker* C1, y corresponde a la Formación Lutitas Gris Verdosas. Los parámetros que distinguen a la Facies sísmica A es la configuración interna tipo hummocky, con una baja a moderada continuidad de sus reflectores señalada en la zona norte por la Figura 14 y en la zona sur por la Figura 15. Además, la facies sísmica A presenta en la zona norte un acuñamiento hacia el oeste (Figura 14), no visto, en la zona sur de la cuenca (Figura 15, 16 y 17).

La facies sísmica B, se encuentra bajo el *marker* C1 y su límite inferior corresponde aproximadamente al *marker* C8 (punto medio de la profundidad de la Formación Lutitas con Ftanitas). Por lo tanto la facie sísmica B engloba tanto a la Formación Lutitas con Ftanitas como a la Formación Margas y ha sido diferenciada de la facie A ya que al contrario de ésta la configuración interna de los reflectores se muestra de forma subparalela y continua, mientras que su forma externa mantiene el espesor de WE en la zona norte (Figura 14) y disminuye su espesor hacia la zona sur (Figura 15,16 y 17),

En la Tabla 3 se sintetiza las características mencionadas que definen cada facies sísmica

Tabla 3.Descripción de facies sísmicas para la secuencia sedimentaria.

Facies sísmica	A	B
Límites	Inmediatamente sobre I10 a C1	C1 a ~C8
formaciones asociadas	Lutitas Gris Verdosas	Lutitas con Ftanitas y Margas
amplitud	moderada a baja	Moderada a baja
continuidad	media a pobre	Alta
Forma externa	Cuña hacia el NW en el sector norte, espesor disminuye hacia el sur.	En capas, mínima dispersión de espesor en el sector norte, disminuye su espesor hacia el sur
Configuración interna	Hummocky	Subparalela

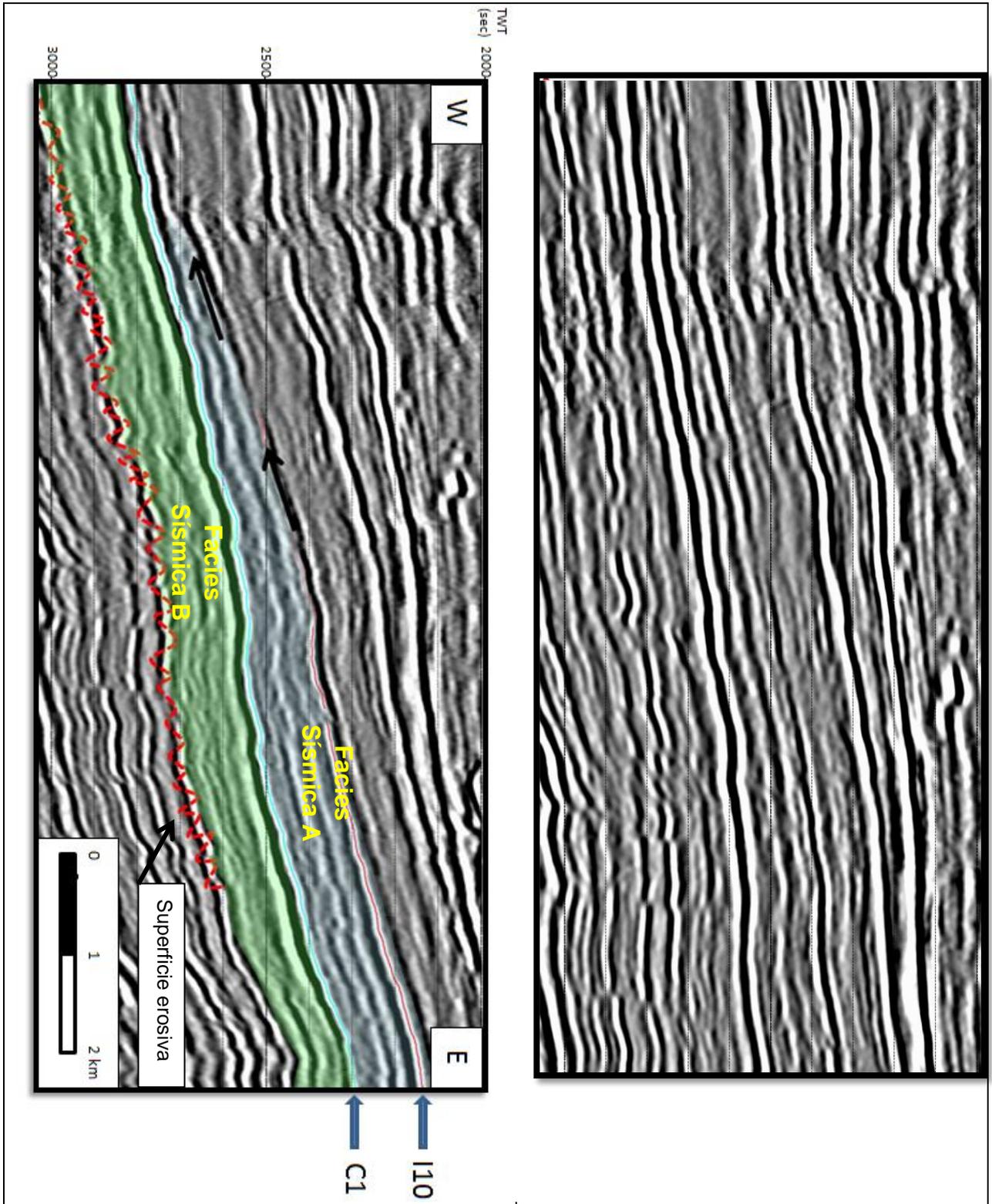


Figura 14. Sísmica 3D, Bloque Dorado-Riquelme imagen limpia e interpretación.

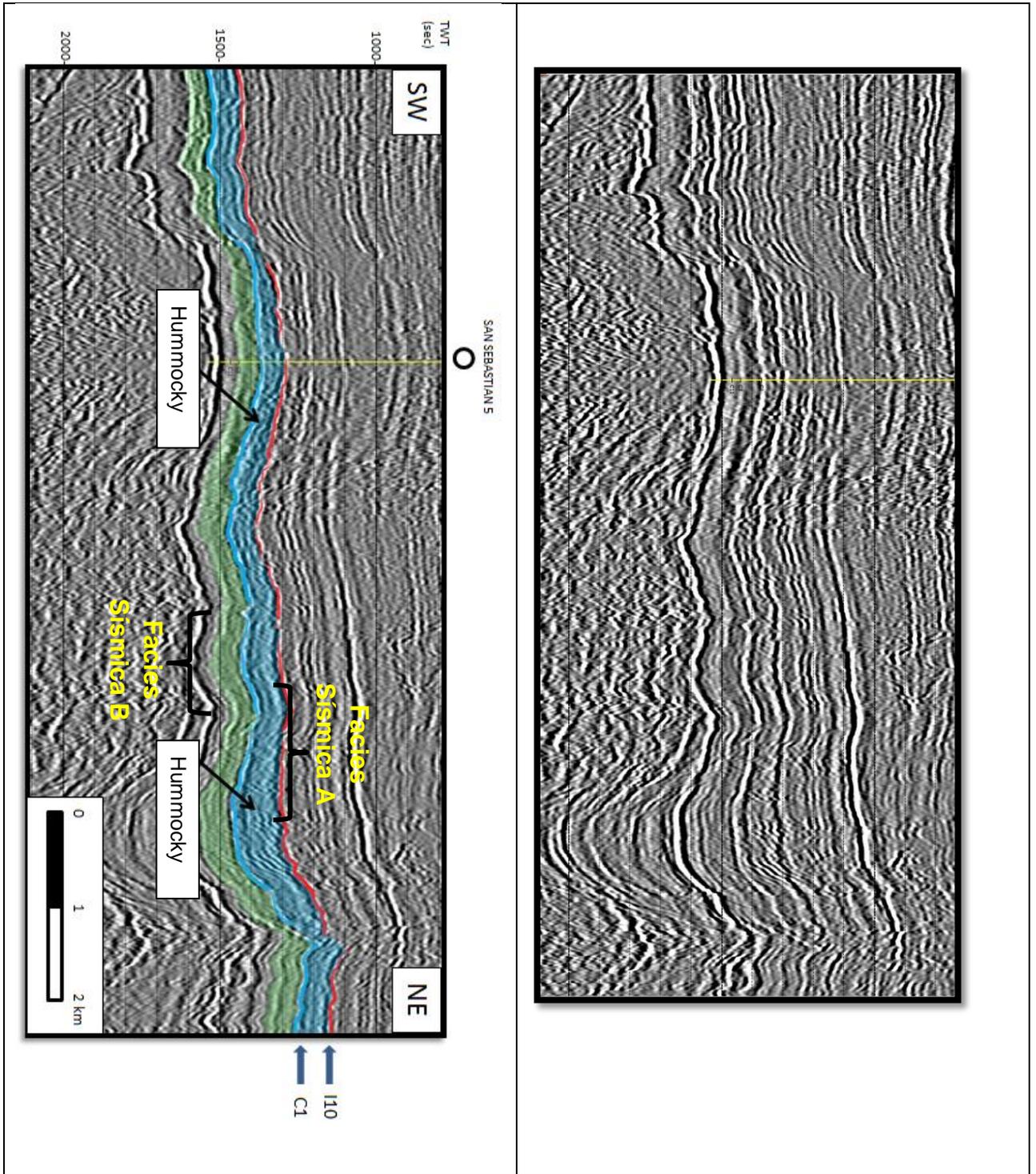


Figura 15. Sísmica Regional 2D, Sector Centro Sur imagen limpia e interpretación.

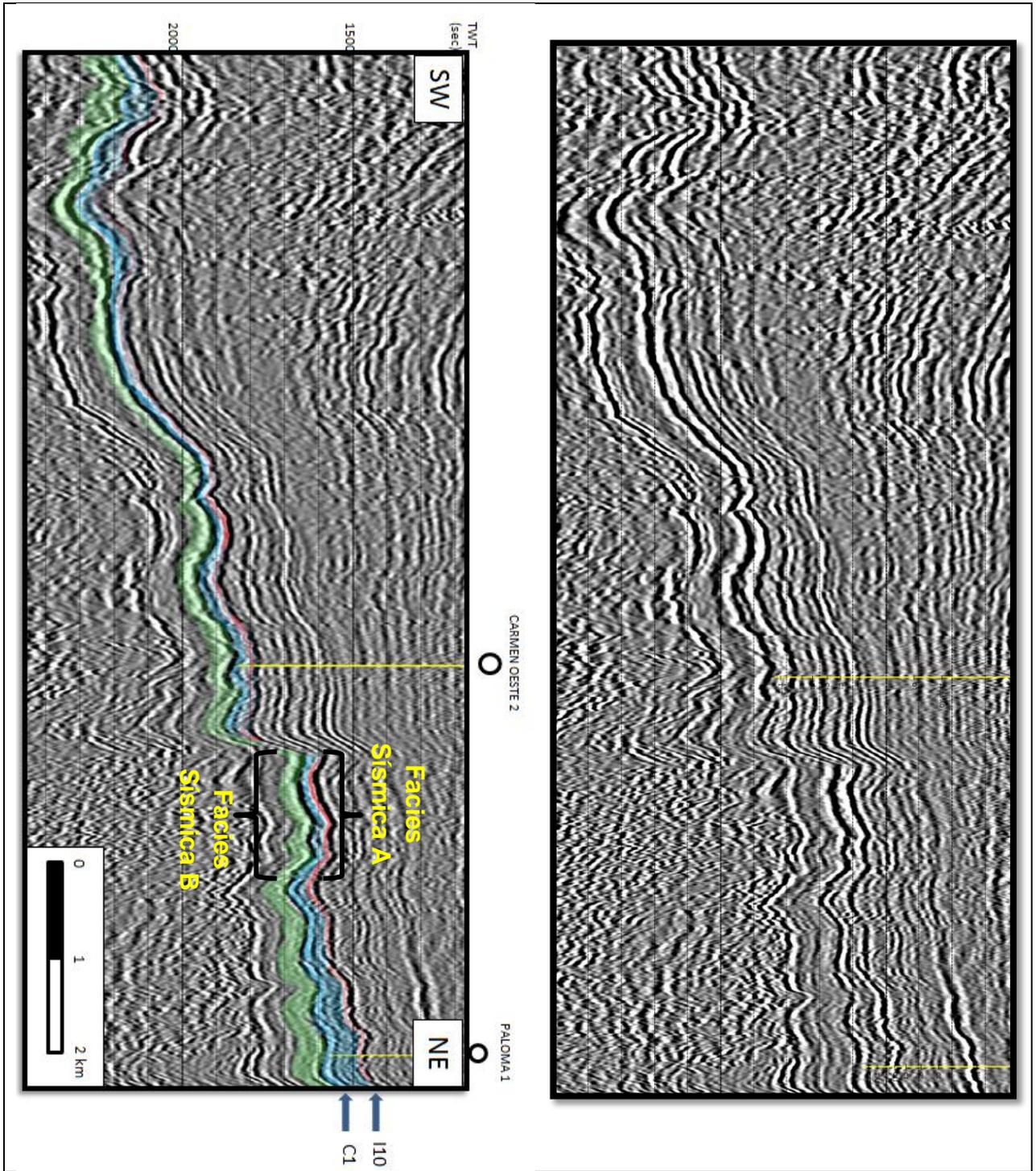


Figura 16. Sísmica Regional 2D, Sector Centro Sur-2 imagen limpia e interpretación.

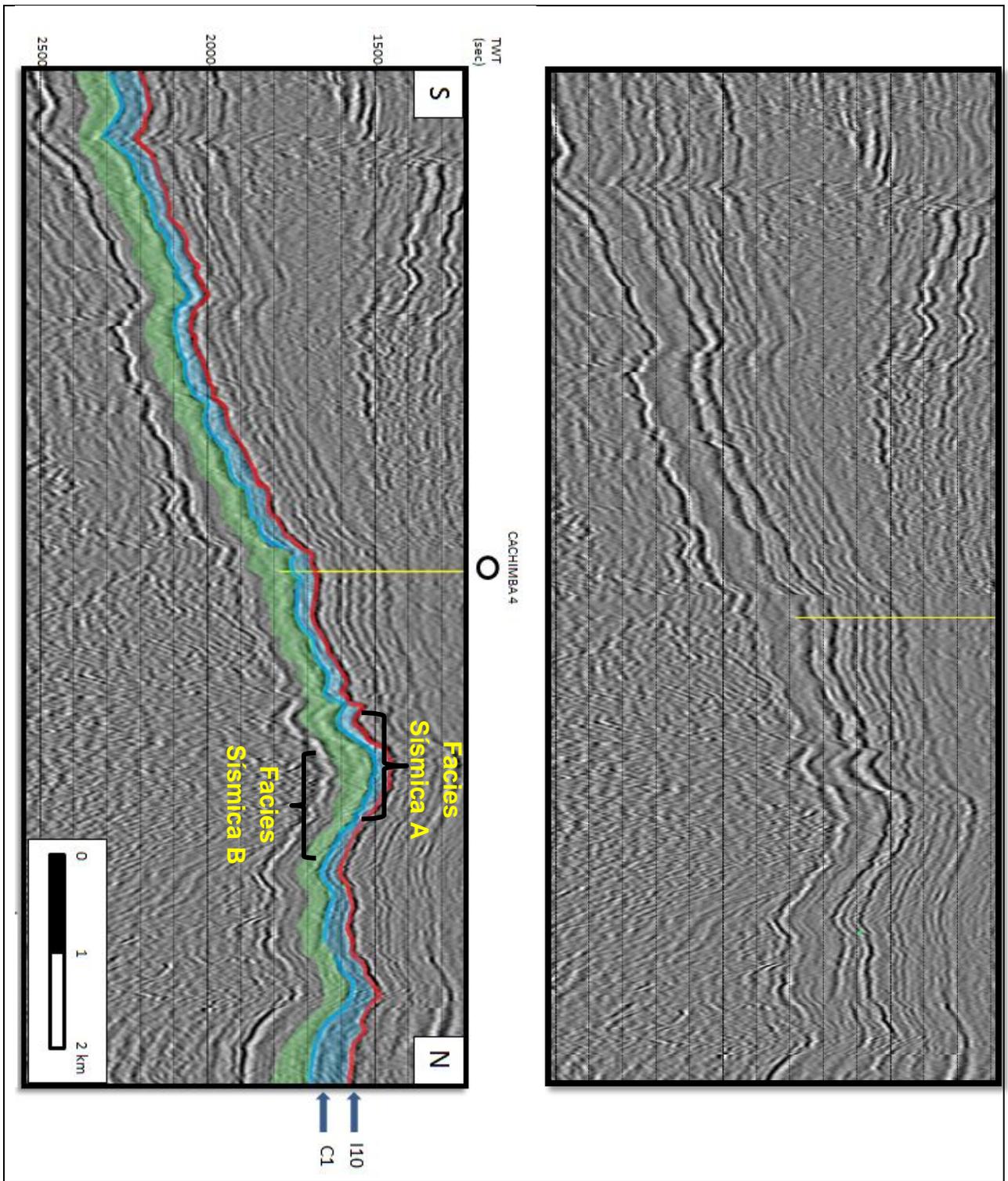


Figura 17. Sísmica Regional 2D, Sector Sur imagen limpia e interpretación

3.2 Estudio sedimentológico

A continuación se describen las facies identificadas en la Formación Margas y Formación Lutitas con Ftanitas. Las facies han sido definidas de acuerdo a las características litológicas, estructuras sedimentarias y estado del contenido fósil, así como icnofacies.

Como se mencionó en la metodología los pozos Albatros-6, Nika Oeste-1, Flamenco-16 y Lautaro-13 cuentan con testigos de la Formación Lutitas con Ftanitas y los pozos Dicky-1, Dorado Sur-12 y Monte Aymond-2 con testigos de la Formación Margas. En la Tabla 4 se señalan las facies encontradas en cada pozo, pertenecientes a la Formación Lutitas con Ftanitas y Formación Margas para luego ser descritas detalladamente.

Tabla 4. Facies para las formaciones Margas y Lutitas con Ftanitas

Formación Lutitas con Ftanitas	Formación Margas
Wacka/Fangolita biogénica (F1)	Fangolita (F5)
Fangolita con laminaciones de limolita (F2)	Mudstone bioturbado con intercalación de caliza (F6)
Laminación ondulítica de fangolita-limolita (F3)	Wackestone con fragmentos de pelecípodos (F7)
Argilita (F4)	Wackestone biogénico con laminaciones calcáreas (F8)

3.2.1 Facies F1 Wacka/Fangolita biogénica

Descripción macroscópica

Wacka fina de color marrón claro con alto contenido calcáreo, identificada en el pozo Lautaro-13. Estrato de 3 m, masivo, expuesta en la sección basal del testigo, incluye chondrites que varían entre 1 a 10 mm y algunos thalasinoides que intruyen a la facies F2 hacia el techo. Finalmente en el techo se encuentra sólo como inclusiones redondeadas o lentes dentro de una fangolita gris (Figura 20).

Descripción petrográfica microscópica

Corresponde al 40% de la muestra M14 (2370 m). Aunque se presenta como una inclusión en la muestra M14, se encuentra presente de forma masiva en el testigo como se describió macroscópicamente. La matriz es arcillosa-silíceas³ con nódulos de pseudoesparita, bioturbada (Bio) caracterizada por la abundancia de fragmentos fósiles que no pudieron ser reconocidos (Frag. Fos), carófitas? (Car) y foraminíferos (Fo)

³ La matriz se compone mayoritariamente por arcillas y menor medida de sílice.

dispersos en la matriz (Figura 18). Es importante señalar que se encuentra como elemento minoritario (~1%) líticos volcánicos (Lit.v) redondeados de andesita.

Los porcentajes estimados corresponden:

Matriz: 70% (arcilla 60% y sílice 40%)

Clastos: 30% (Fo 10%, Car 25%, Frag Fos 65%)

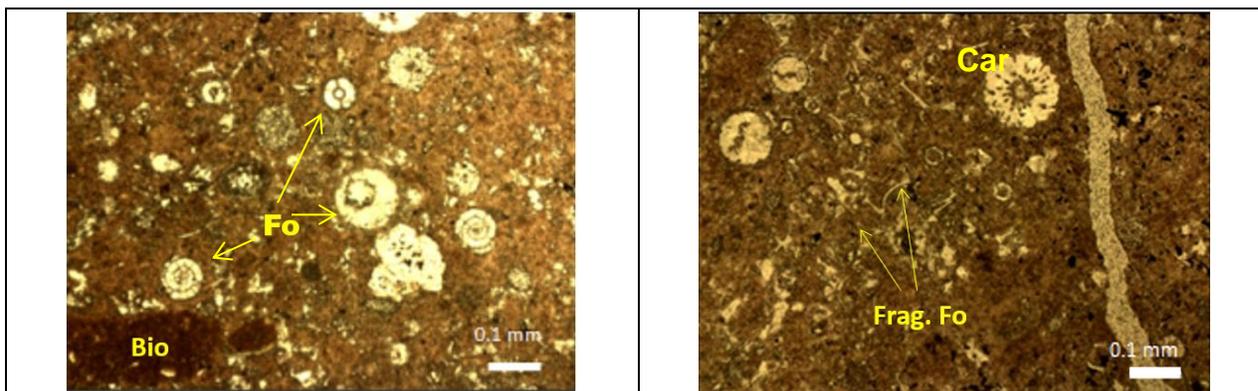


Figura 18. Lautaro-13: profundidad 2370.2 m nicoles paralelos, mostrando la abundancia de foraminíferos, carófitas(?) y fragmentos fósiles.

3.2.2 Facies F2 Fangolita con laminaciones de limolita

Descripción macroscópica

Corresponde a una fangolita masiva de color pardo reconocida en los 5 m superiores de testigo del pozo Lautaro 13. Incluye finas laminaciones de limo distribuidas en forma aleatoria. Las laminaciones de limo poseen pirita rellenando fracturas y ocasionalmente se puede encontrar clastos de arenisca con cemento calcáreo, no así el resto de la roca. Por último, ésta facies desaparece transicionalmente por la presencia de icnofacies característica de F1 (Figura 20).

Descripción petrográfica microscópica

En la muestra M13 (2376.5 m) intruida por la facies F1 se observa una fangolita masiva de matriz arcillosa. La parte fangolítica contiene clastos de cuarzo, plagioclasas y en menor proporción clorita de hábito radial (Figura 19 B). La matriz de esta fangolita posee laminación planar, paralela interna (muestra M14, 2370 m) dado por el mayor contenido de arcilla.

Las laminaciones de limolita presentes en esta facies contienen cuarzo (Qzo) monocristalino y subanguloso, plagioclasas (Plag), minerales opacos (Mx.o) (Figura 19 E), radiolarios (Ra) y líticos volcánicos (Lit.v) (Figura 19 A). Las laminaciones se presentan intercaladas, horizontales, de contacto neto, milimétricas (~2 mm), junto a su sección fangolítica donde su matriz disminuye pasando al rango de las wackas (>75%).

Matriz: 85% (arcilla 60% y sílice 40%)

Clastos: 15% (Qzo 40%, Plag. 25%, Mx.o 10%, Ra 23%, Lit.v 2%)

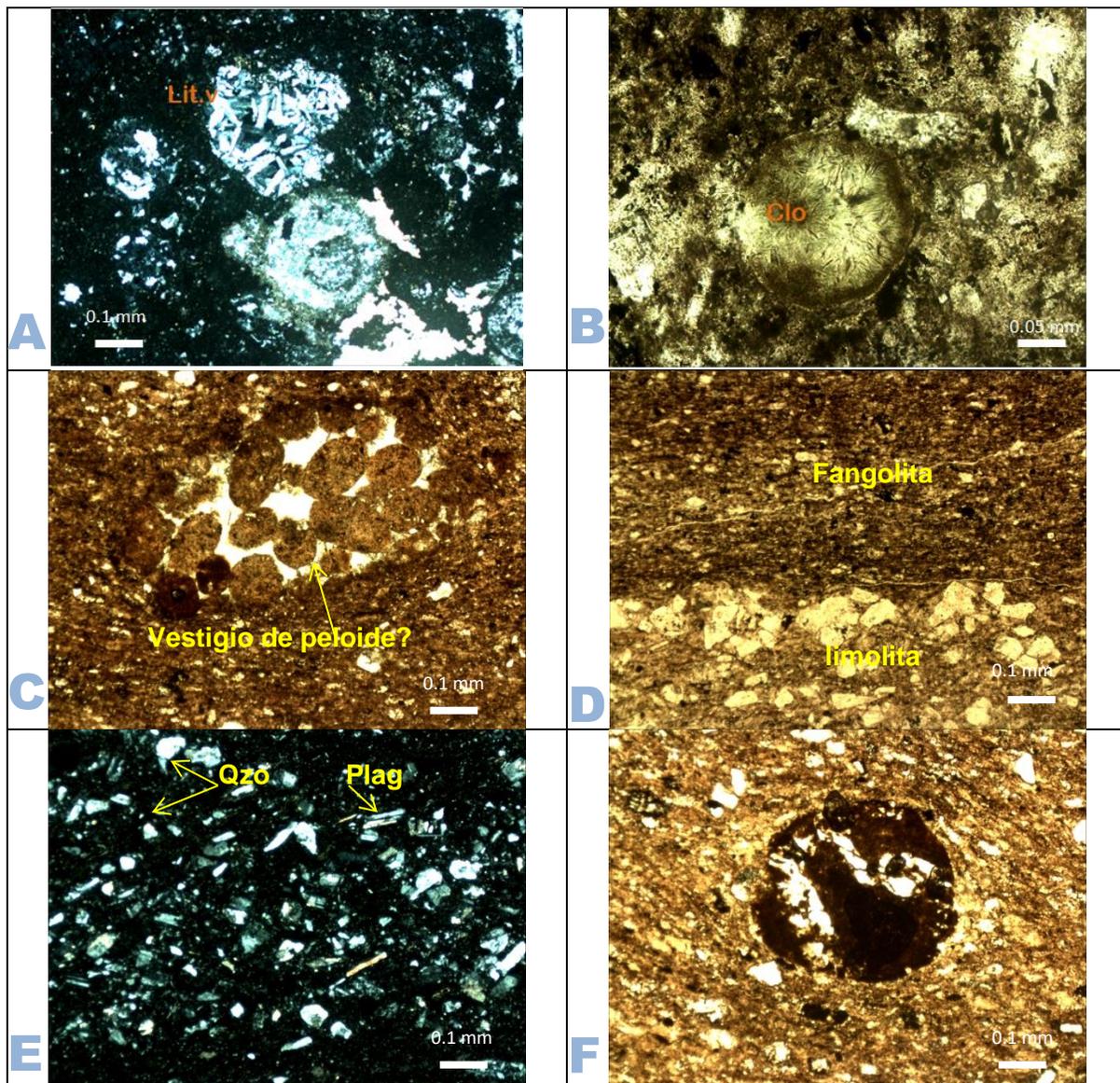


Figura 19. Pozo: Lautaro13: (A) profundidad 2370.2 m, lítico volcánico a nicoles cruzados; (B) profundidad 2376.5 m, clorita a nicoles paralelos; (C) y (F) profundidad 2370.2 m muestra de flujos rodeando clasto no identificado a nicoles paralelos; (D) profundidad 2370.2, contacto entre fangolita y limolita; (E) profundidad 2370.2, cuarzo y plagioclasa a nicoles cruzados.

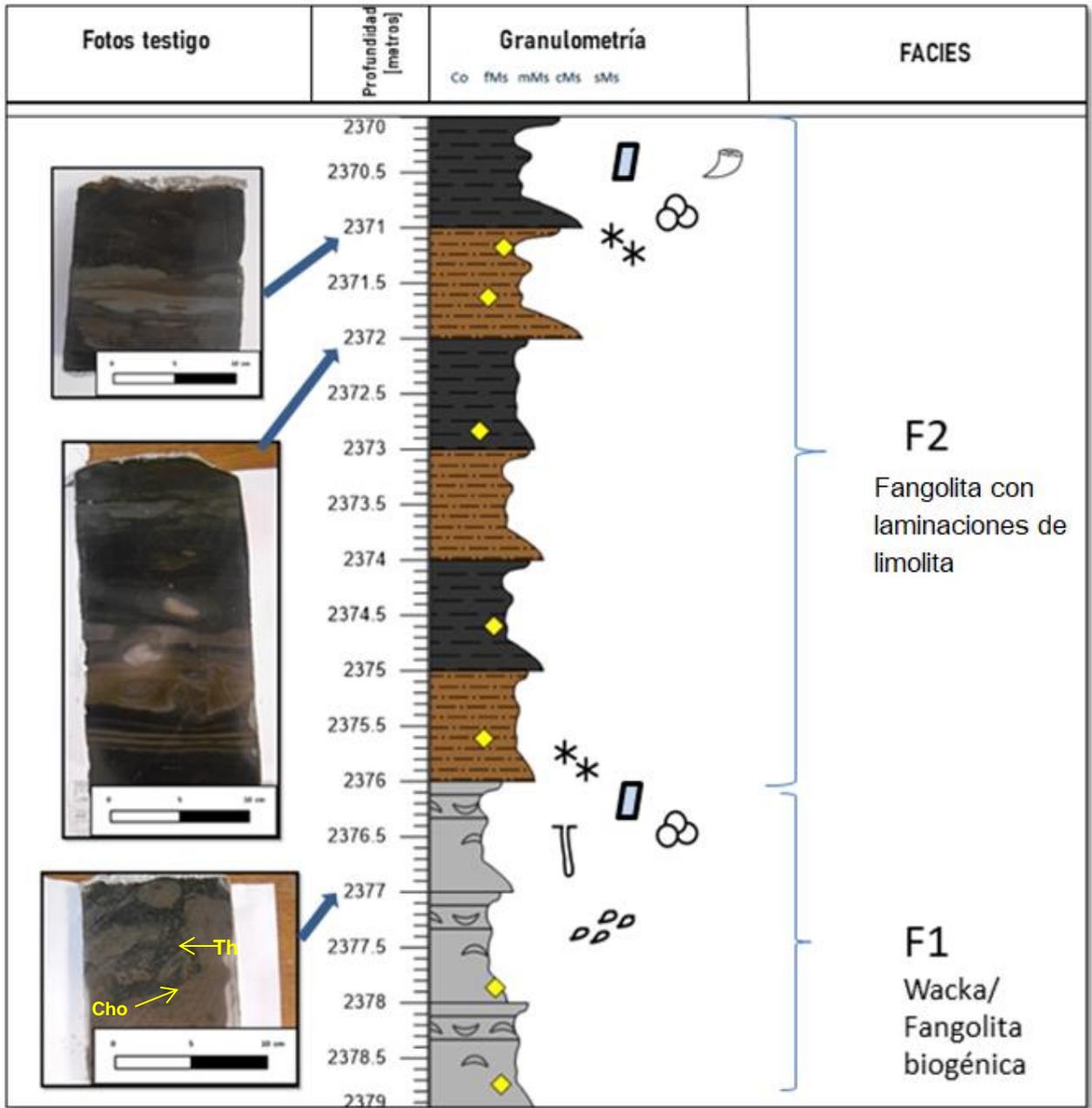


Figura 20. Columna estratigráfica esquemática de pozo: Lautaro 13. Leyenda ANEXO 3.

3.2.3 Facies F3 Laminación ondulítica de fangolita-limolita

Descripción macroscópica

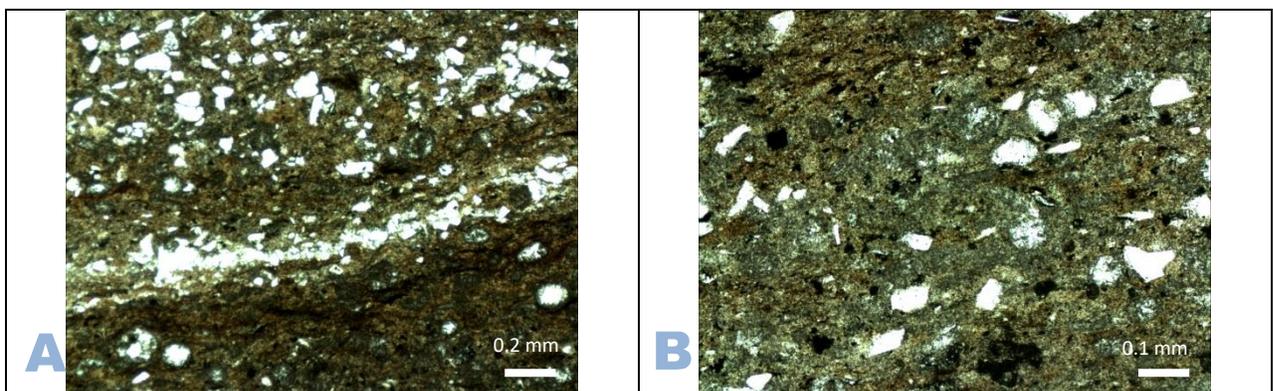
Facies 3 se describe tanto en testigos del pozo flamenco-16 como Albatros-6. Consiste de una fangolita de matriz arcillosa que se intercala con capas centimétricas de limolita formando laminación ondulítica. El cambio litológico se ve reflejado por la variación de colores marrones. Respecto a su contenido, en el pozo Albatros-6 (Figura 23) se puede encontrar bitumen, y en el pozo Flamenco-16 (Figura 22) pirita diseminada. Al igual que en las facies anteriores un porcentaje variable de detritos corresponde a líticos volcánicos.

Descripción petrográfica microscópica

En las muestras M1 (1658 m), M16 (1845 m) y M17 (1848 m) se observa fangolita de matriz arcillosa (95%) intercalada por capas de limo en una matriz arcillosa-silíceo (90%). Las capas de fangolita de color marrón oscuro se encuentran laminadas con alternancia de material orgánico (Figura 21 E) y presencia de radiolarios igualmente orientados (Figura 21 F). Pasando a capas de limolita de cuarzo, plagioclasas y minerales tamaño limo grueso que no presenta orientación preferencial (Figura 21 B). Se deduce que está intercalación a pequeña escala es la que se ve reflejada a mayor escala como laminaciones ondulíticas (Figura 22, Figura 23)

Matriz: 90 - 95%

Clastos: 10-5% (Ra 40%, Qzo 40%, Plag 15%, Lit.v 5%)



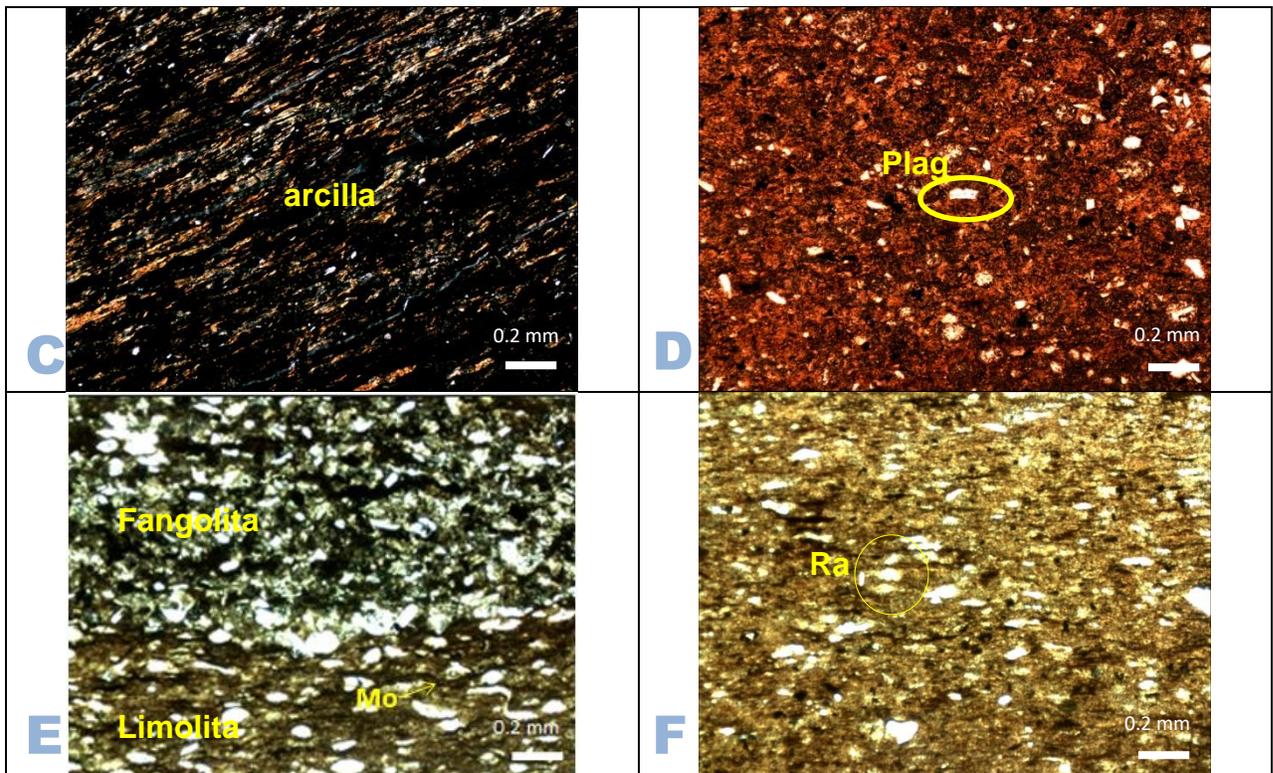


Figura 21. Pozo Flamenco-16; (A) (B) capas de limolita con clastos subangulosos a nicoles paralelos profundidad 1848.2 m, (C) capa arcillosa a nicoles cruzados profundidad 1848.2 m, (D) capa arcillosa con escasos clastos a nicoles paralelos. Pozo Albatros-6; (E) contacto entre capa de limolita y capa de fangolita, (F) fangolita con abundancia de radiolarios orientados a lo largo de la laminación del estrato.

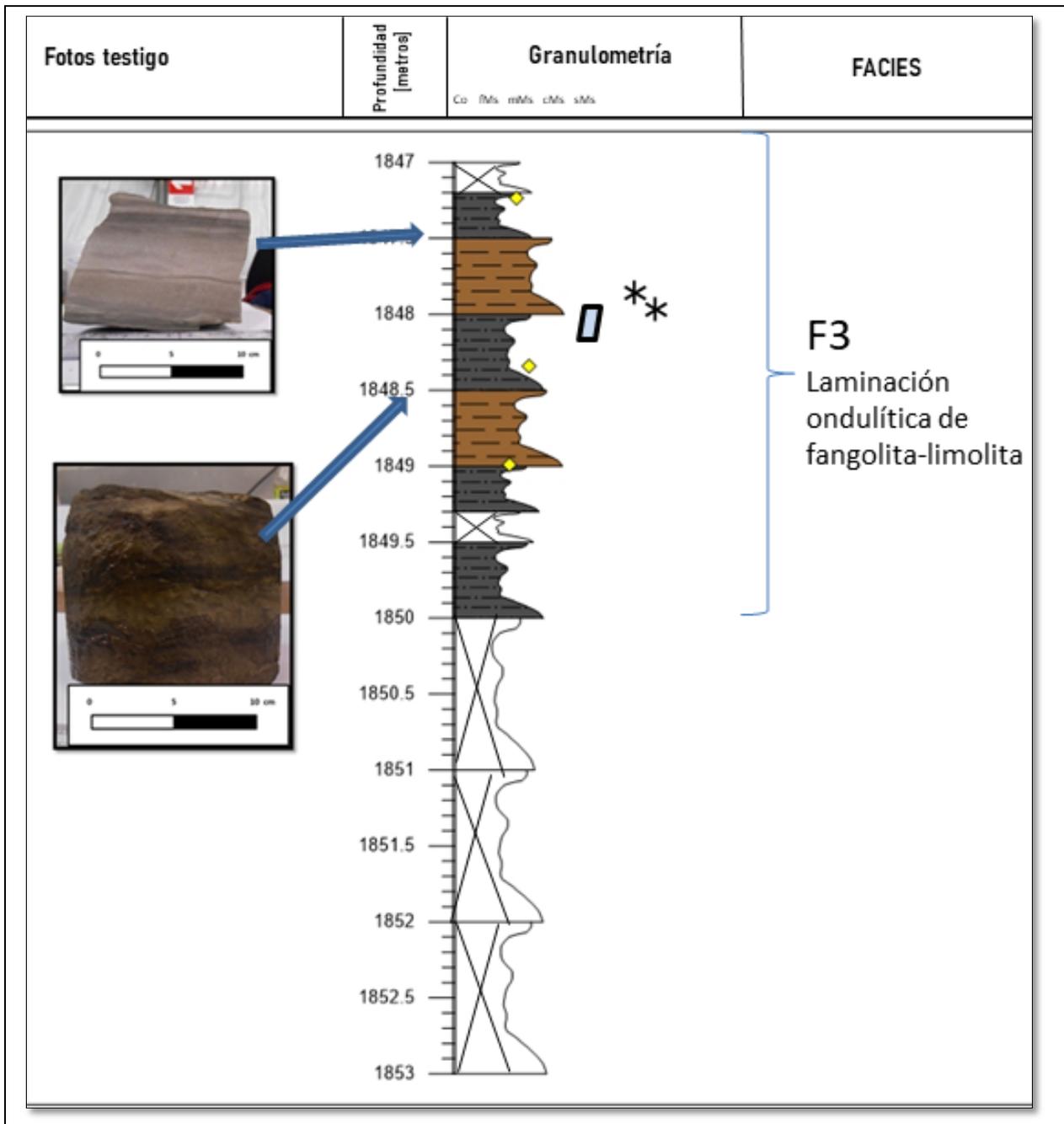


Figura 22. Columna estratigráfica esquemática de pozo Flamenco-16. Leyenda ANEXO 3.

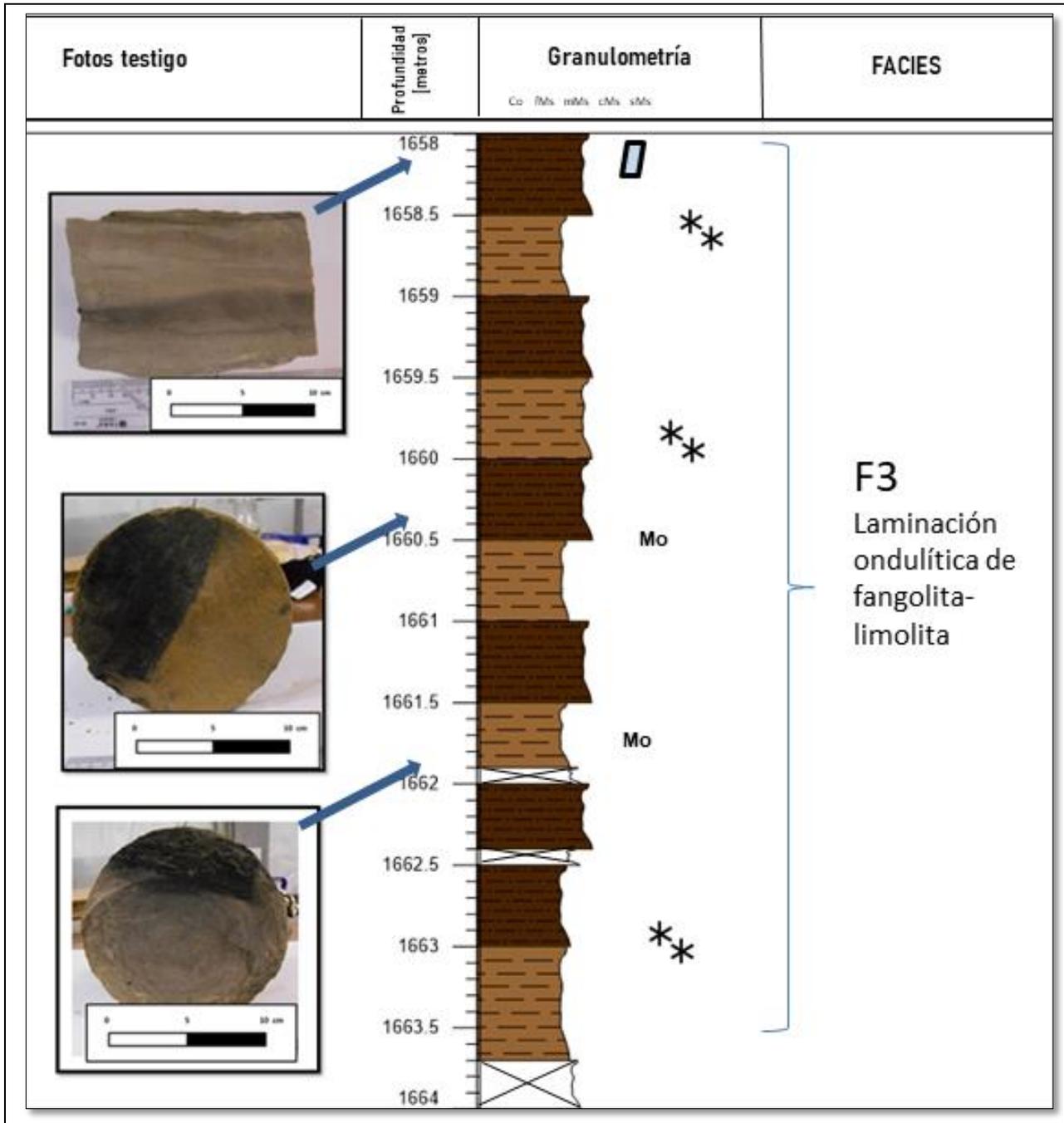


Figura 23. Columna estratigráfica esquemática de pozo Albatros-6. Leyenda ANEXO 3.

3.2.4 Facies F4 Argilita

Descripción macroscópica

Facies masiva y compacta de grano muy fino con escasa bioturbación. Presenta fragmentos fosilíferos de color negro (no identificados), restos de belemnites y materia orgánica uniforme de tonalidad verdosa. Su espesor estimado es de 4 m en el testigo del pozo Nika Oeste-1 (Figura 25).

Descripción petrográfica microscópica

En los muestras M10 (2700.7 m) y M15 (2701.8 m) se observa una matriz arcillosa laminada (Figura 24 A). Los clastos consisten de cuarzo, plagioclasas, opacos y líticos no diferenciados, incluyendo espículas (Figura 24 C) y anfíbol como mineral traza.

Matriz: 90% (arcillas 80% y sílice 20%)

Clastos: 10% (Plag 10%, Qzo 40%, clastos opacos (biogénicos?)30%, Lit. 20%)

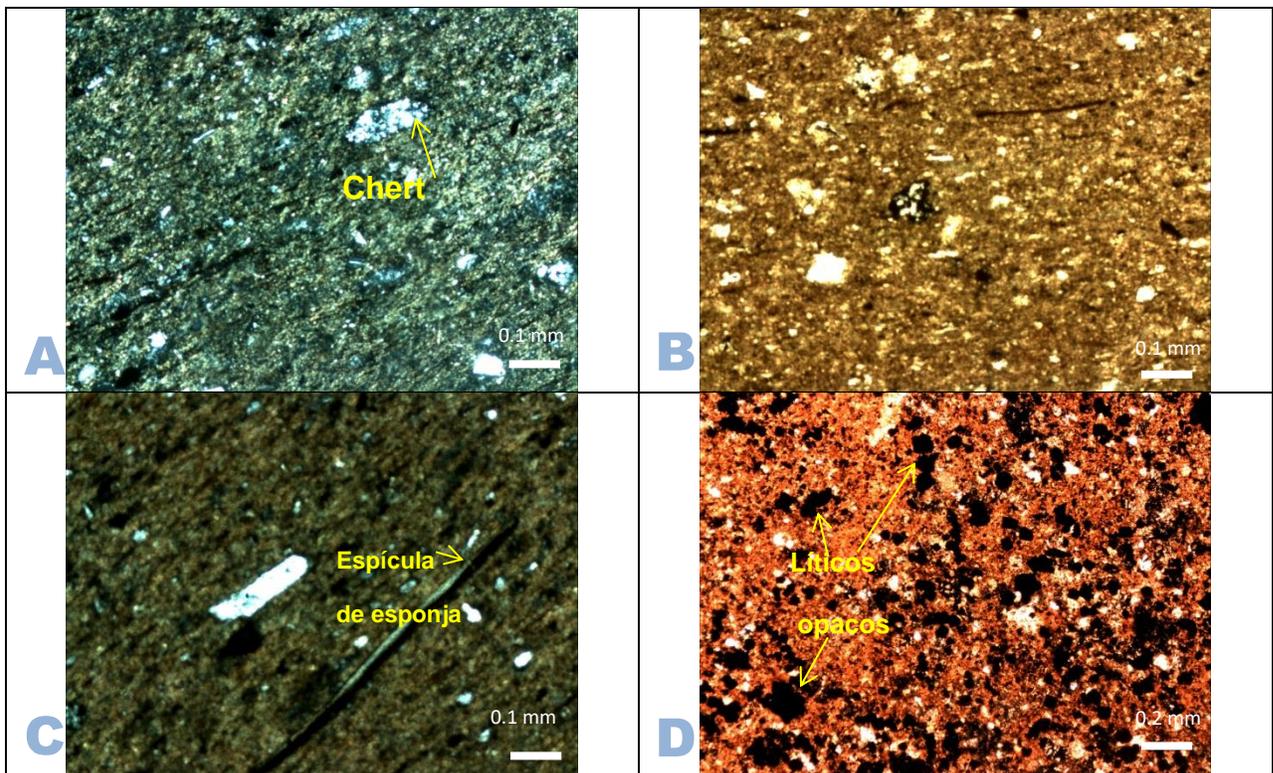


Figura 24. Pozo: Nika Oeste-1: (A) , (B) y (C) líticos alineados a la matriz. (C) incluye espícula alineada y (D) sector no alineado por la presencia de líticos opacos (biogénicos?).

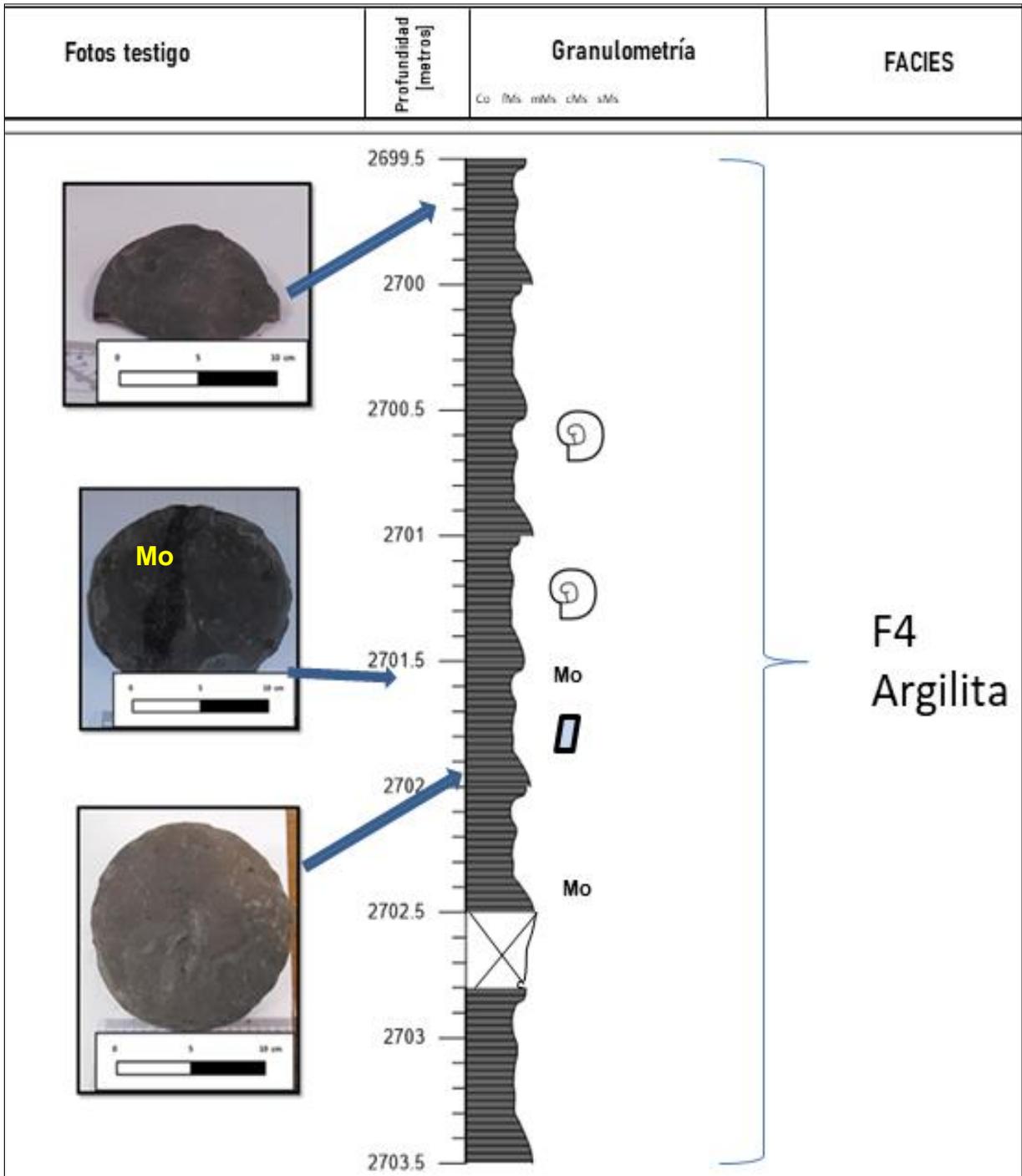


Figura 25. Columna estratigráfica esquemática de pozo: Nika Oeste-1. Leyenda ANEXO 3.

3.2.5 Facies F5 Fangolita

Descripción macroscópica

Fangolita muy fina, masiva con carbonato disperso aleatoriamente, su espesor estimado es de 6 m en el testigo del pozo Dicky-1 (Figura 27). Presenta planos de deslizamiento a 35° y con vetillas de calcita (1 mm de espesor) en su mayoría discontinuas, asociadas o no a los planos de deslizamiento, están siempre relacionadas a fracturas a sus alrededores., Son también frecuentes los restos de belemnites, espículas y pirita. Igualmente a la facies 4, existen clastos (biogénicos?) opacos silicificados.

Descripción petrográfica microscópica

La fangolita masiva contiene una fracción detrítica limosa (20%) De acuerdo a la muestra M2 (2420.3 m) y M3 (2417.8 m) su matriz se compone de arcilla con una laminación gradacional, etc. Los clastos de tamaño limo consisten en carbonato detrítico, cuarzo monocristalino euhedral a subhedral, fragmentos de plagioclasas, foraminíferos, valvas de pelecípodos fragmentadas, líticos volcánicos y como accesorio glaucofano y espículas (Figura 26 A y B). Existen además algunos aglomerados de plagioclasa, feldespato potásico y calcita unida por parche de esparita. Por otro lado, las valvas de pelecípodos (Pel) presentan bioerosión (microperforaciones), orientados al igual que la mayoría de los clastos.

Matriz: 75% (80% arcilla, 20% sílice)

Clastos: 25% (Qzo 18%, Pel 20%, plag 12%, lit.v 3%, Fo 10%, Feld F 37%)

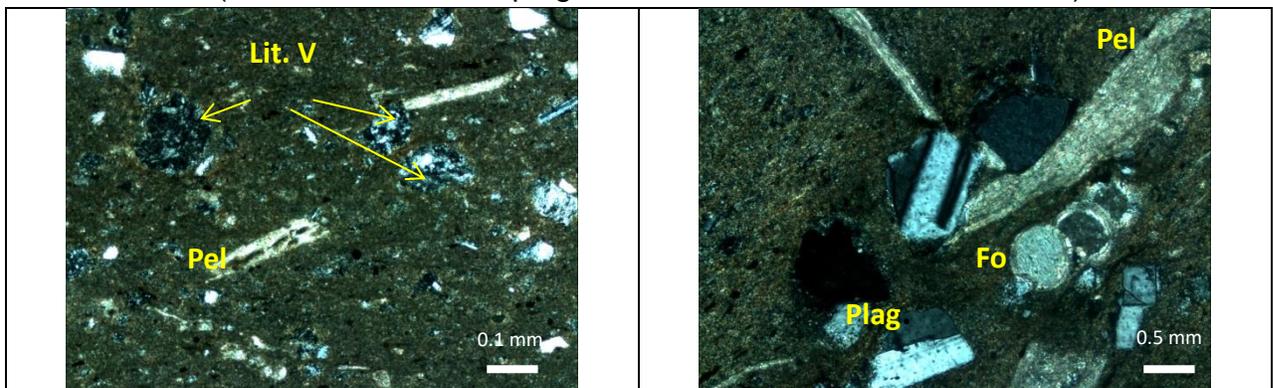


Figura 26. Dicky -1 prof. 2420.3 m En la foto izquierda se observan fragmentos de valvas de pelecípodos con microperforaciones y clastos volcánoclasticos subredondeados. En la imagen derecha se observa fragmentos de valvas de pelecípodos, foraminíferos y clastos de feldespato potásico.

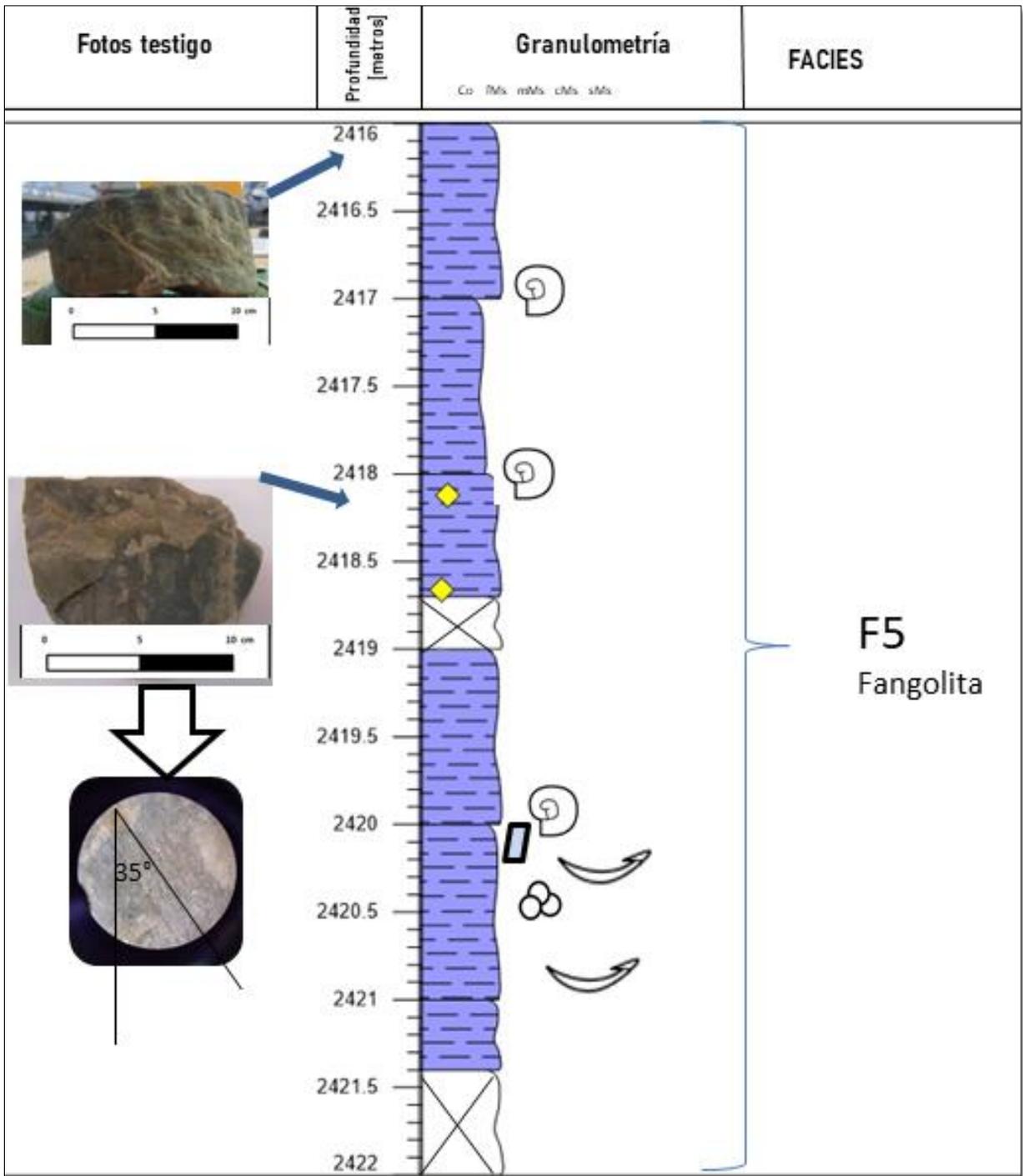


Figura 27. Columna estratigráfica esquemática de pozo: Dicky-1. Leyenda ANEXO 3.

3.2.6 Facies F6 Mudstone bioturbado con intercalación de caliza

Descripción macroscópica

Mudstones con 10% de planolite y 10% chondrites con abundantes vetillas de calcita de espesores que varían de 2 mm a 3 cm. Se identifica la presencia de pirita, fragmentos fósiles, espículas y clastos con aureolas de oxidación. Su espesor es de 5.5 m con una intercalación de 20 cm de caliza micrítica en su parte media. Esta facies sólo se ha identificado en testigos del pozo Monte Aymond-2 (Figura 30).

Descripción petrográfica microscópica

Mudstones de matriz micrítica con clastos silicificados de tamaño limo fino y fragmentos de ostrácodos de 2 a 5 mm (Figura 28 A). Esta facies se caracteriza por presentar intensa bioturbación en al menos tres etapas que quedan evidenciada claramente en las imágenes de la Figura 28 B, donde la matriz micrítica (1) incorpora inclusiones de esparita (2) y sobre ésta delgadas huellas de arrastre (3). Por otro lado, existe un intervalo de 20 cm de caliza es decir compuesta 100% de carbonatos de calcio en contacto suturado (Figura 29).

Matriz: 90%

Clastos 10% (Ostrácodo 40%, clastos silicificados 30%, calcita 25%, tremolita-actinolita y parches esparíticos 5%)

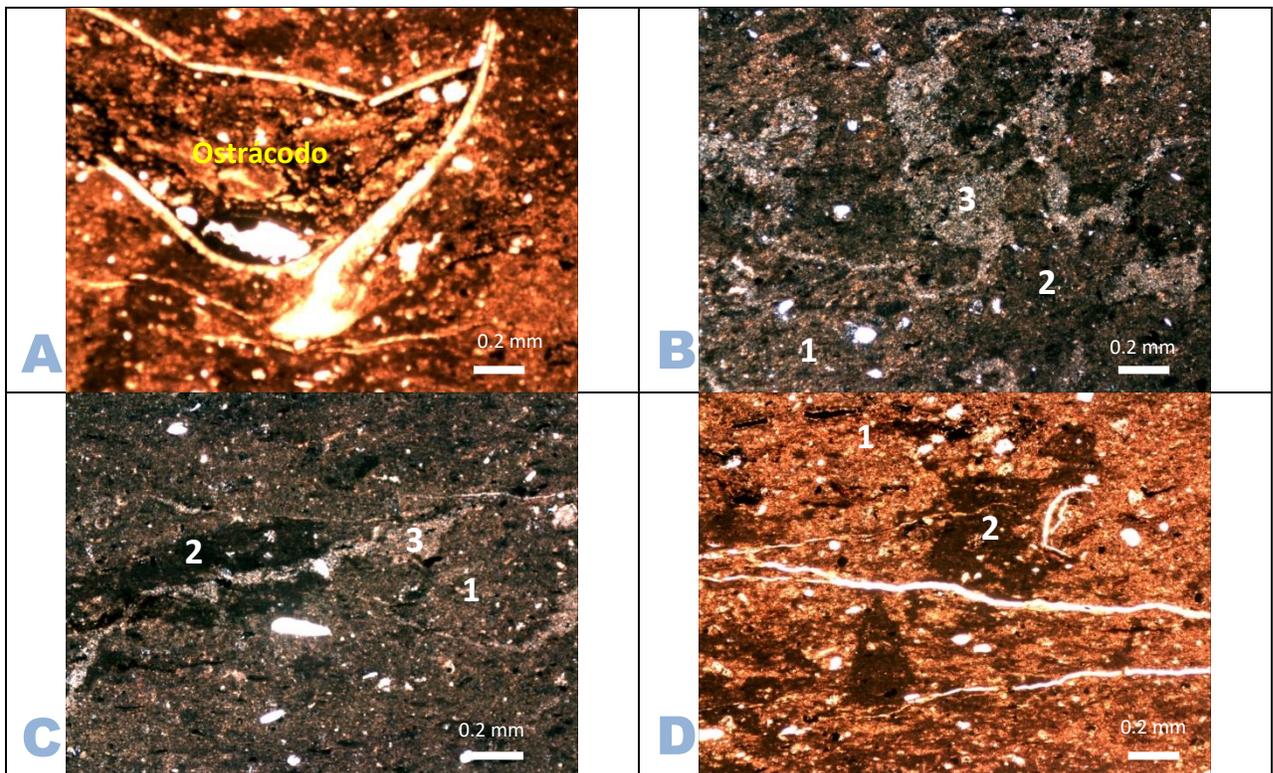


Figura 28. Monte Aymond prof. 2013 m. En (A) se observa un macro fósil de ostrácodo (?), mientras que el conjunto de imágenes (B, C Y D) señalan el orden de deposición establecido de estos sedimentos en diversas áreas de la lámina delgada (1, 2,3).

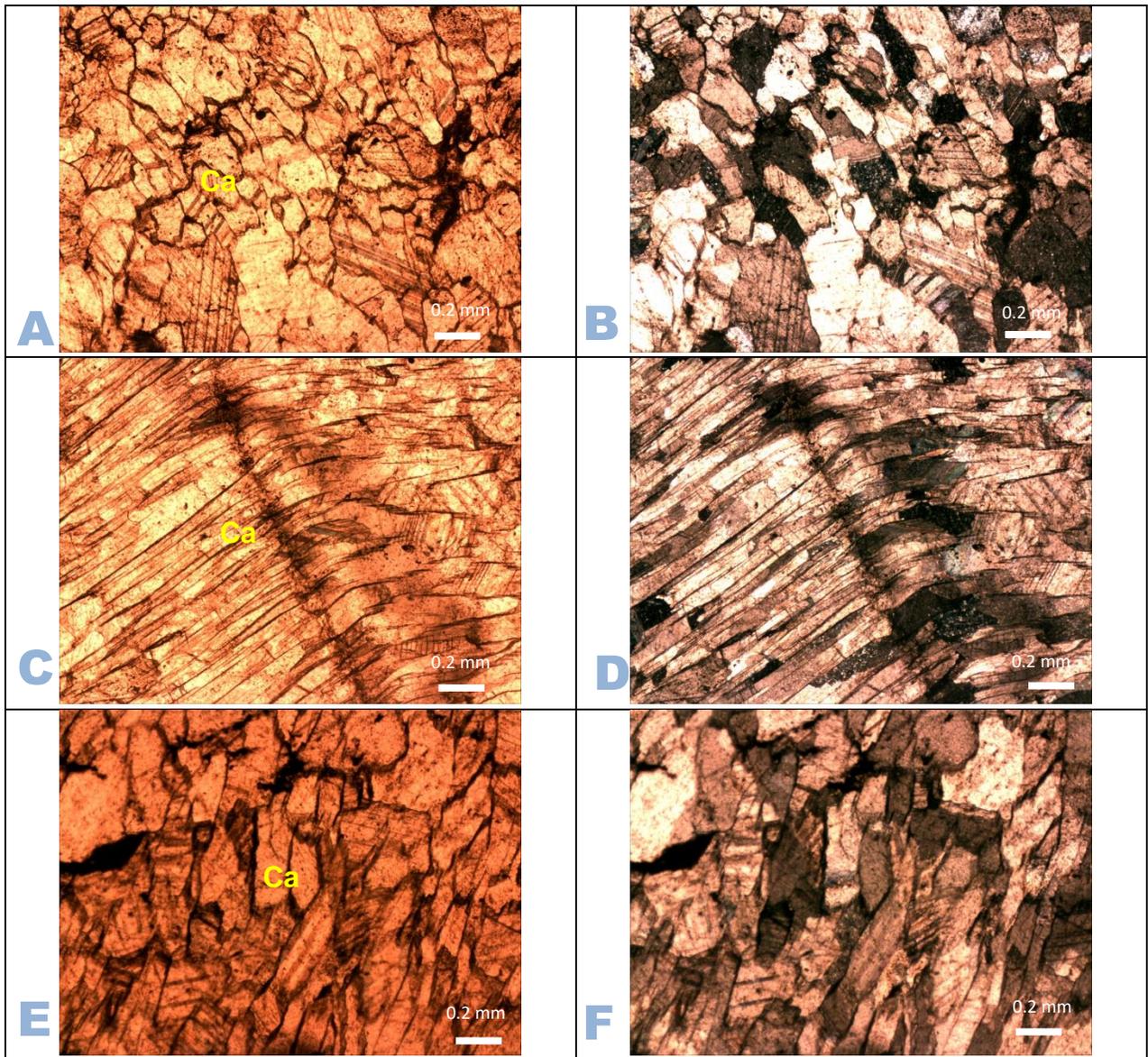


Figura 29. Monte Aymond-2 prof. 2012.5 (A), (B) muestra cristales de calcita de contacto suturado presión-disolución, mientras que (E) y (F) el contacto tiende a ser alargado por lo que muestra una presión preferencial. En (C) y (D) se observa calcitas columnares a prismático dentro de las vetillas.

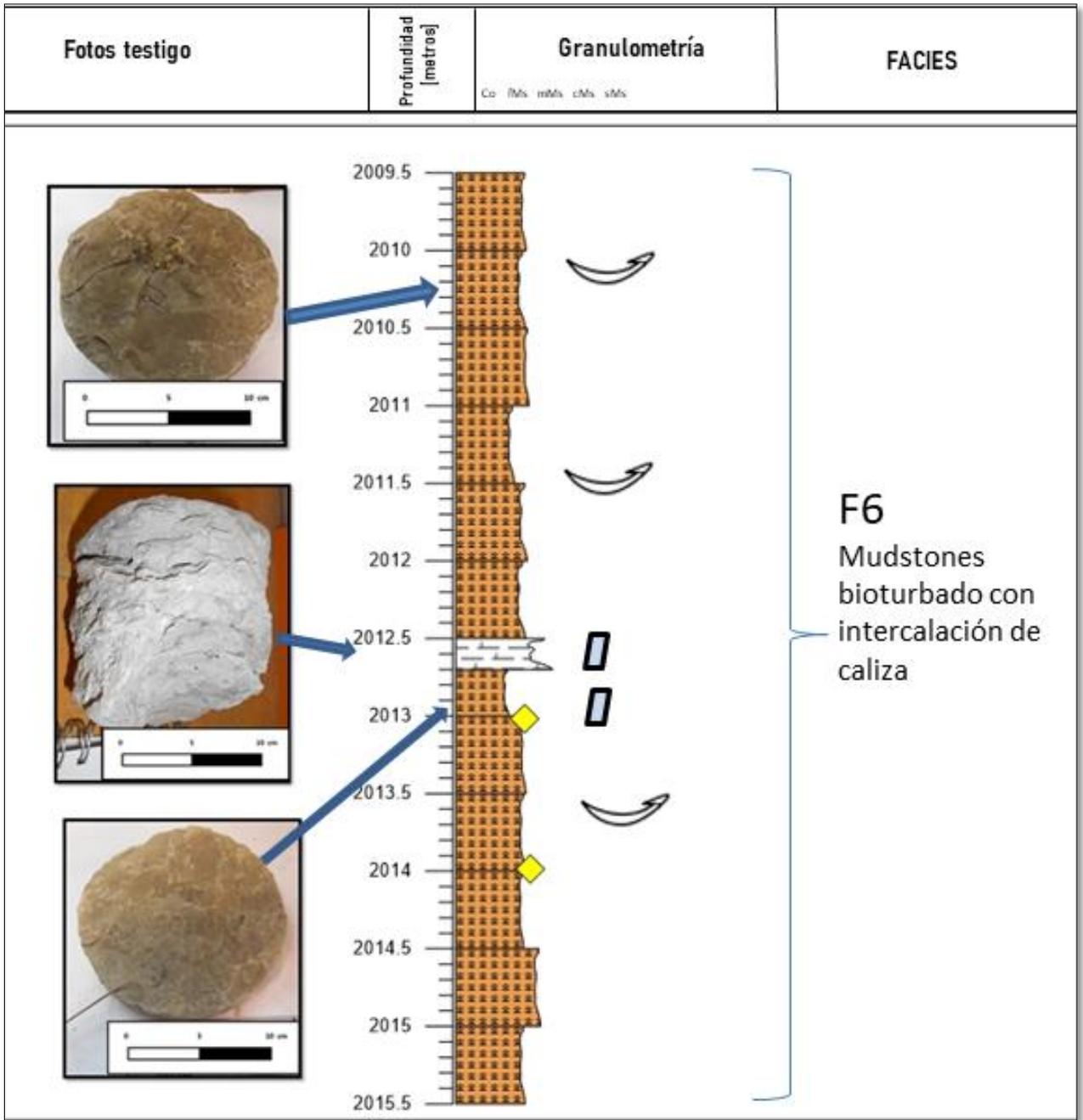


Figura 30. Columna estratigráfica esquemática de pozo: Monte Aymond-2. Leyenda ANEXO 3.

3.2.7 Facies F7 Wackestone con fragmentos de pelecípodos

Descripción macroscópica

Se reconoce en alrededor de 5 metros de la base de la Formación Margas, en testigos del pozo Dorado Sur-12. Corresponde a una wackestone con abundantes fragmentos de fósiles, entre ellos inoceramus y escasos belemnites. La facies es altamente

bioturbada con chondrites y en menor proporción thalasinoides, además fracturas perpendiculares al eje mayor del testigo y patinas de calcita (Figura 34).

Descripción petrográfica microscópica

Correspondiente a la muestra M8 (2785.3 m) se tiene una buena representación de la facies de wackestone con matriz micritica de color gris, caracterizada por sus microfracturas y abundante presencia de valvas de pelecípodos (inoceramus). Las valvas de pelecípodos se encuentran reemplazadas por calcita, microcristales de cuarzo y feldespato (Figura 31).

Matriz: 60%

Clastos: 40% (valvas de pelecípodos 60%, detrito calcáreo 30%, Fo 10%)

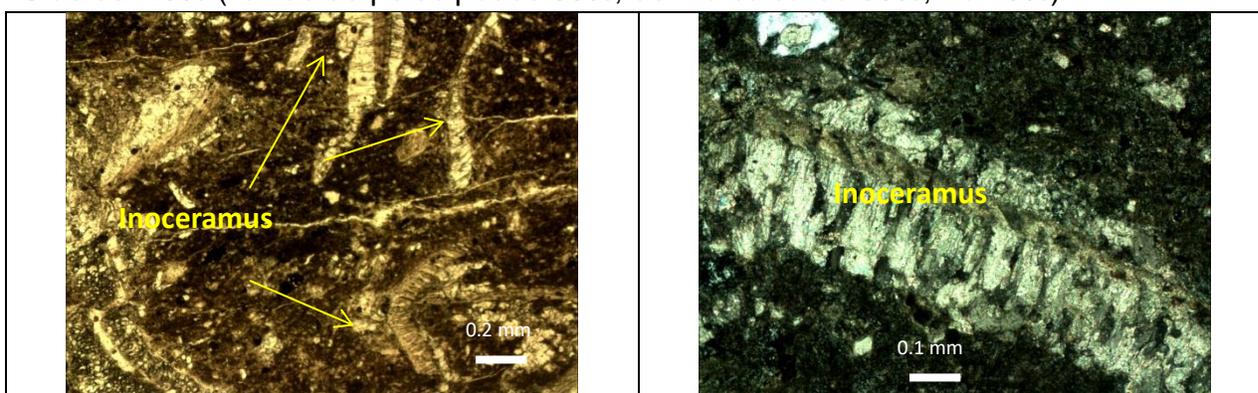


Figura 31. Pozo Dorado Sur-12 prof. 2785.2 m

3.2.8 Facies F8: Wackestone biogénico con laminaciones calcáreas

Descripción macroscópica

Se reconoce por alrededor de 12 metros en testigos del pozo Dorado Sur-12. Se deposita en contacto neto paralelo sobre la facies F7 y se desarrolla hasta el techo de la Formación Margas. Esta facies se caracteriza por poseer una intensa bioturbación dada por abundantes planolites y thalasinoides y en menor proporción chondrites. Respecto a su estructura ésta ha sido alterada por la intensa bioturbación, aunque se distingue alternancia de sustratos grises y verdosos, donde su contacto se muestra más nítido y de manera ondulosa. Los sustratos grises se distinguen por la nitidez de sus bordes y abundancia de fracturas. Los últimos 6 m de testigo hacia el techo se pierde la estratificación ondulosa debido a su alta bioturbación y predomina los sustratos verdosos con valvas de pelecípodos y en menor proporción belemnites (Figura 34).

Descripción petrográfica microscópica

La facies wackestone biogénico con laminaciones cristalinas se encuentra presente en las muestras M4, M5, M6, M7, M9 y se caracteriza por presentar wackestone con una

matriz micrítica en la cual se encuentran dispersos clastos sin orientación preferencial. Las partículas esqueléticas están conformadas principalmente por foraminíferos, radiolarios y detrito calcáreo (Figura 32). Como minerales accesorios se encuentra glauconita, actinolita, y minerales de óxido de Fe.

Respecto a las laminaciones calcáreas se pueden presentar formando redes cristalinas a grainstone intercalándose entre wackestone con un espesor aproximado de 5 mm. El detritito calcáreo se suelen encontrar asociado a foraminíferos o belemnites como se observa en la Figura 33 (C y D).

Matriz: varía entre 60% a 75%

Clastos: 40% a 25% (Fo 25%, Valvas de pelecípodos 15%, belemnites: 3%, detrito calcáreo 57%)

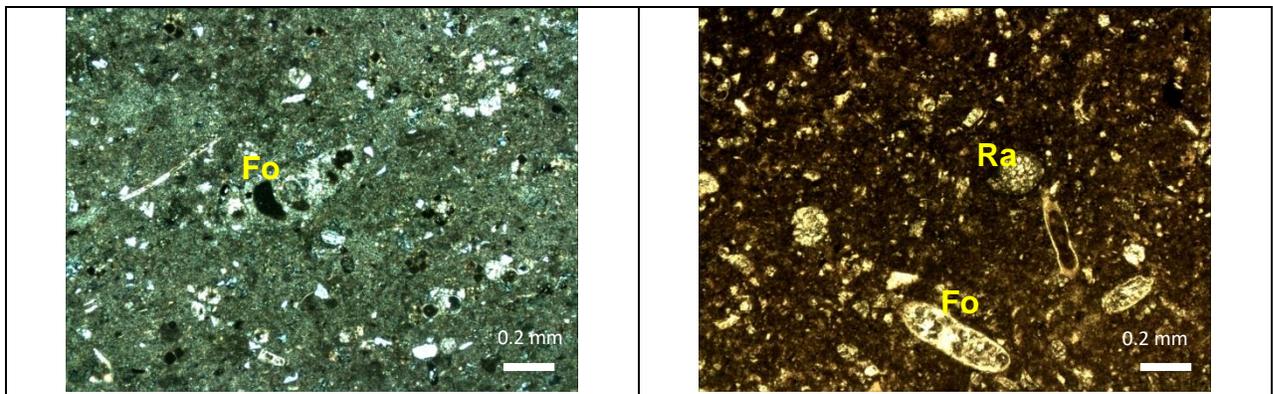


Figura 32. Dorado Sur-12 prof. 2773.2 m A la izquierda se observa un foraminífero centrado rodeado de abundantes bioclastos, mientras que la imagen de la derecha prof. 2777 también posee abundantes bioclastos, al centro radiolarios, y en la esquina inferior derecha se observan foraminíferos.

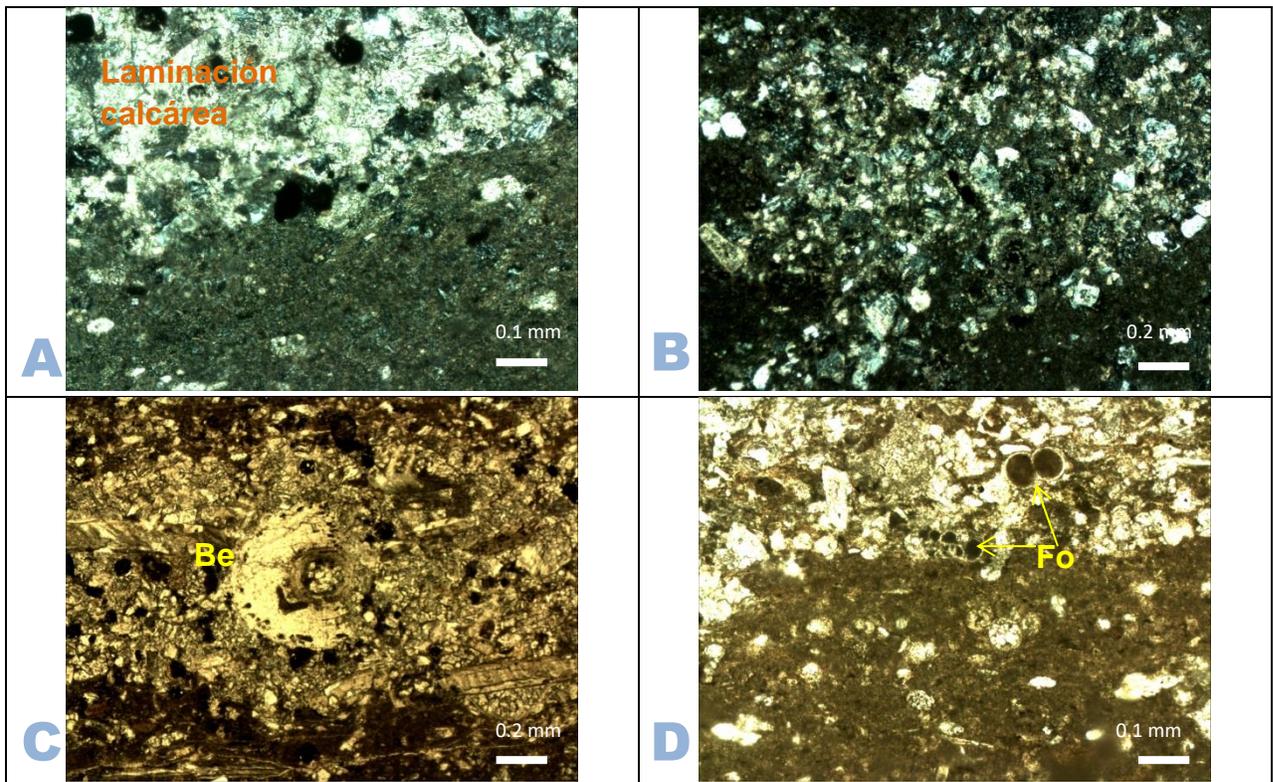


Figura 33. Dorado Sur-12. (A) prof. 2778.8 lamina de limolita compactada (B) Prof. 2777 m Cúmulos limosos de cuarzo y extraclastos. (C) prof. 2774.2 lamina de limolita, en su centro fragmento belemnite; y (D) Lamina de limolita con foraminíferos.

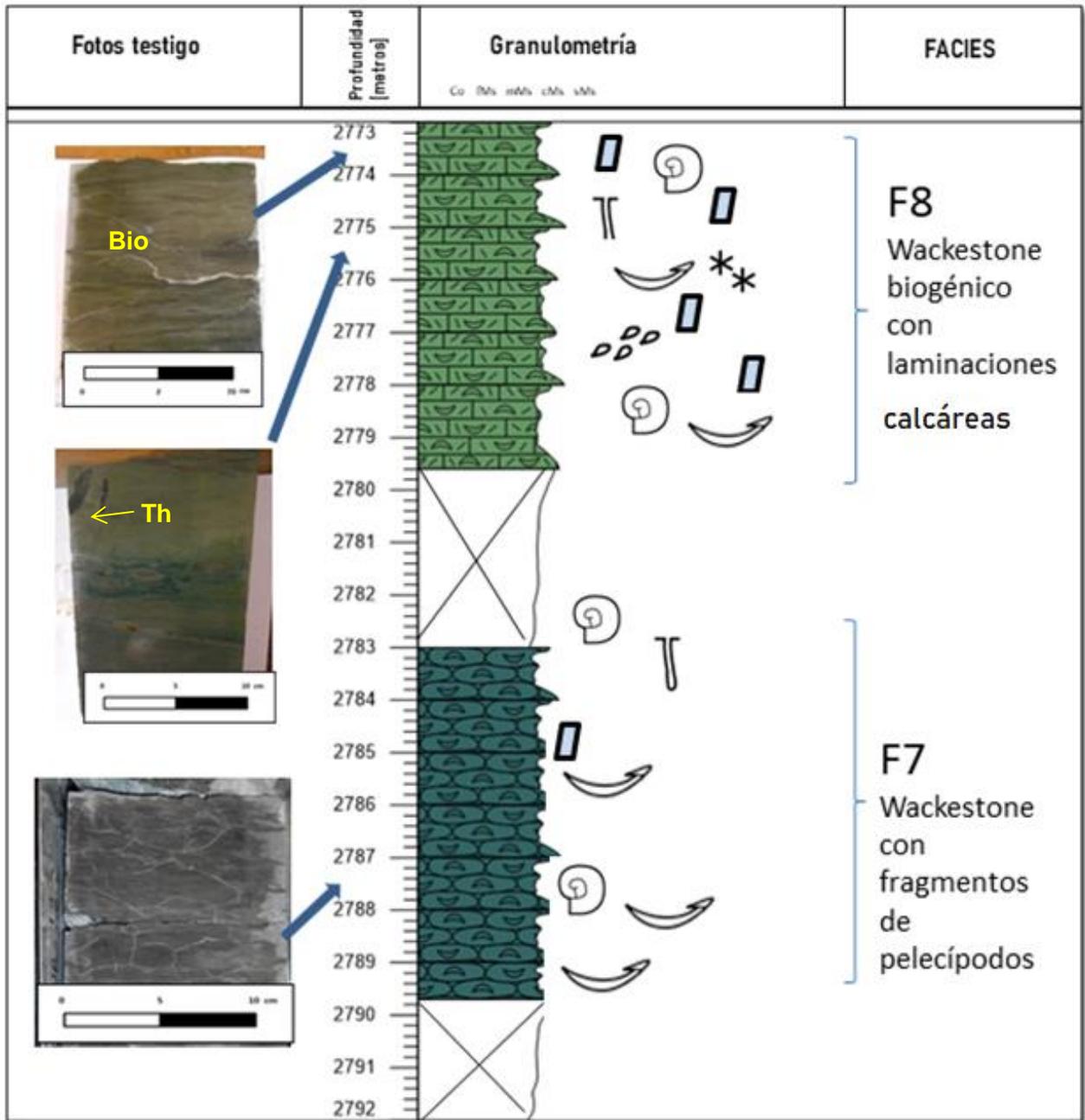


Figura 34. Columna estratigráfica esquemática de pozo: Dorado Sur 12. Leyenda ANEXO 3.

3.3 Descripción de formaciones e interpretación

En base al análisis sedimentológico se puede describir e interpretar la Formación Lutitas con Ftanitas y Formación Margas de la siguiente manera:

3.3.1 Formación Lutitas con Ftanitas

La descripción estratigráfica de cuatro pozos permite definir cuatro facies (Tabla 4) para la Formación Lutitas con Ftanitas. En resumen la Formación Lutitas con Ftanitas se puede definir como una sucesión de laminaciones horizontales a ondulíticas de fangolitas y limolitas (F2 y F3). Las fangolitas laminadas presentan abundante contenido de radiolarios y en los pozos Flamenco-16 y Albatros-6 se presenta material orgánico entre sus láminas. El pozo Lautaro-13 presenta la particularidad de mostrar inclusiones de wacka/fangolita biogénica dentro de las laminaciones. Estas inclusiones de wacka poseen abundante fragmentos fósiles y foraminíferos.

A escala macroscópica se observan en los pozos Flamenco-16 y Albatros-6 laminaciones ondulíticas a subhorizontales, mientras que en el pozo Lautaro-13 incluye concreciones calcáreas de forma lenticular entre las laminaciones.

Interpretación paleoambiental

Debido a su abundante contenido de material fino o matriz y su baja madurez se interpreta como un ambiente de plataforma externa, de baja energía dominado por procesos de decantación de material en suspensión, en el cual se depositaron fangolitas con laminaciones subhorizontales a ondulíticas. Las laminaciones horizontales y ondulítica se puede explicar por corrientes débiles a moderadas y ligeramente variables en su intensidad, que presentan en general una carga en suspensión elevada. Mientras que las inclusiones o lentes de wacka se explicarían por niveles de mayor energía arrastrando fragmentos fósiles desde la plataforma interna. Por otro lado, la presencia de pirita indica depositación en condiciones anóxicas, es decir pobre en oxígeno, las que permiten también preservar la laminación limitando la bioturbación.

La presencia de líticos volcánicos máficos subredondeados demostraría actividad volcánica con algún grado de transporte antes de depositarse (corrientes volcano-turbidíticas(?)), mientras que la presencia de clorita podría haberse formado producto de la alteración de material vítreo.

3.3.2 Formación Margas

La descripción estratigráfica de tres pozos permite definir cuatro facies para la Formación Margas (Tabla 4). En resumen, la Formación Margas se define como una sucesión de rocas híbridas es decir, presenta tanto rocas calcáreas como rocas clásticas. Las rocas calcáreas corresponden a wackestone y mudstone. Mientras que las rocas clásticas corresponde a fangolita de matriz arcillosa con escaso contenido fósil.

Las facies calcáreas se diferencian principalmente por el cambio entre la abundancia de una especie fósil a otra y los rasgos de bioturbación. Respecto a su estructura suele darse de forma masiva; en el pozo Dorado Sur-12 a grandes rasgos muestra una granulometría más fina a mayor profundidad con abundancia de fragmentos de pelecípodos (ver Figura 34). Mientras que el pozo Monte Aymond-2 en general presenta un sedimento homogéneo muy fino (mudstone), pero en base a la observación microscópica se puede distinguir a través de su bioturbación diferenciaciones en etapas de depositación de los sedimentos con diferentes tamaño de grano. Por último, el pozo

Dicky-1 se diferencia del resto por presentar mayor contenido de arcilla en su matriz, y la presencia de líticos volcánicos subredondeados.

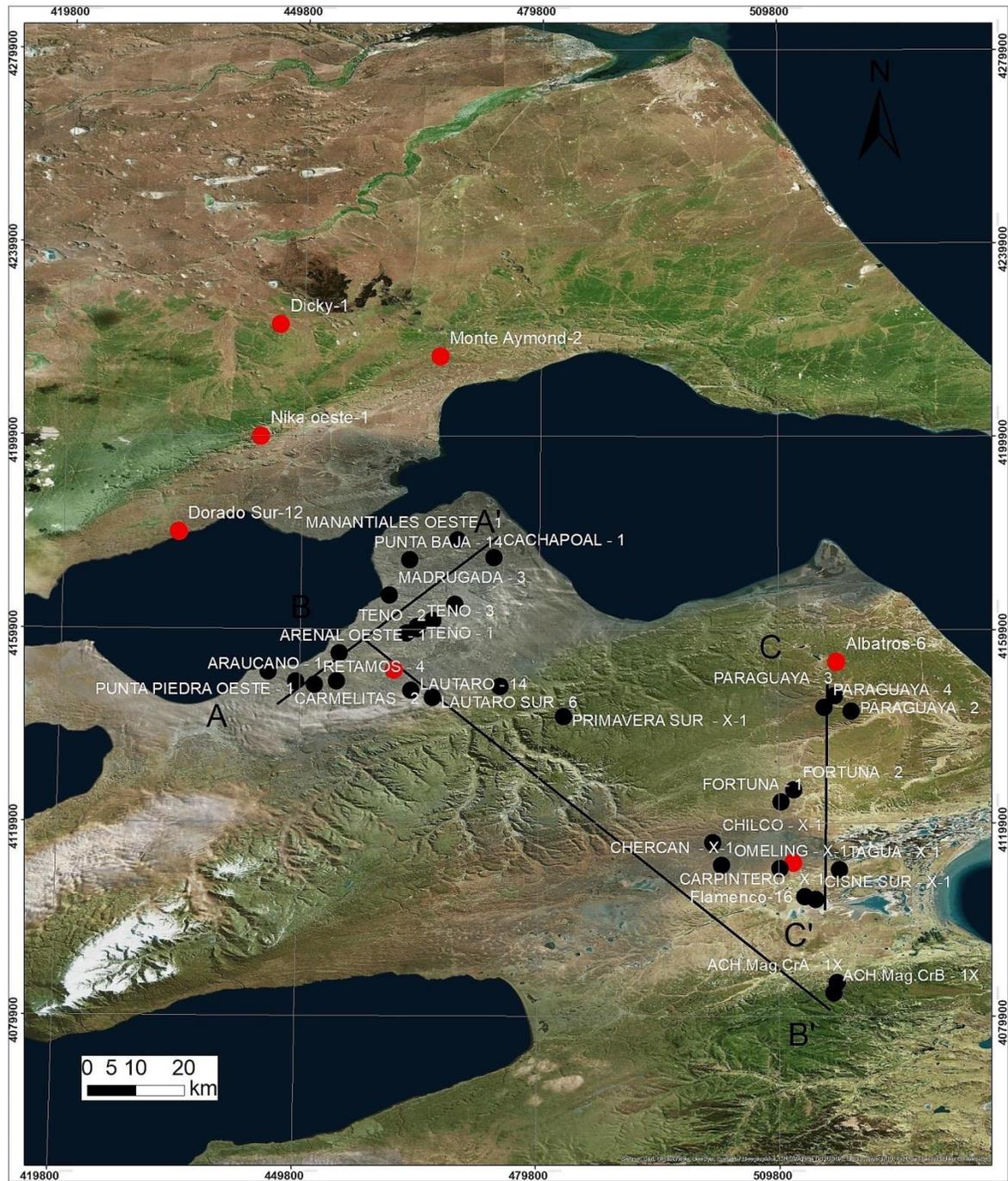
Interpretación Paleoambiental

La Formación Margas destaca por un aumento en el contenido de carbonatos pasando de fangolitas calcáreas a wackestone o mudstone. Su menor contenido de arcillas indicaría la menor profundidad a las que se encontraban los sedimentos, dominado por un ambiente tranquilo, estableciendo las condiciones para que se desarrollaran las poblaciones de microorganismos. Por otro lado la presencia de láminas milimétricas de detritos calcáreos demuestra la existencia flujos de mayor energía. Las fangolitas de la Formación Margas se diferencia principalmente de la Formación Lutitas con Ftanitas por la ausencia de laminaciones tanto macroscópicamente como a escala microscópica, y su mayor variedad y contenido de poblaciones de organismos. Por lo tanto, se interpreta que la Formación Margas corresponde a sedimentos depositados en un ambiente de plataforma más somera.

3.4 Análisis Petrofísico

El análisis petrofísico permite estimar parámetros básicos de las rocas a partir del registro de propiedades eléctricas, sónicas, radioactivas, etc. El objetivo es estimar indirectamente propiedades físicas de roca como el contenido de fluidos, porosidad, tipo de roca, permeabilidad y densidad. Otros parámetros se estiman mediante la calibración de algunos registros con datos reales medidos en rocas de testigos, para esto es necesario deducir ecuaciones con variables independientes medidas y que tengan efecto sobre el parámetro estimado. Entre éstas están la permeabilidad, contenido de arcillas y porosidad.

Para los 33 pozos con datos petrofísicos se obtienen **la transecta A-A' (NE-SW)** conformada por los pozos: Punta Piedra Oeste-1, Carmelitas-2, Retamos-4, Arenal Oeste-1, Teno-3, Teno-1, Los Morros Este-3, Madrugada-1, Punta Baja-14, Las Vegas-9, Manantiales Oeste-1 y Cachapoal-1. **La transecta B-B' (NW-SE)** conformada por los pozos: Teno-2, Lautaro-13, Lautaro Sur-6, Victoria Este-26, Primavera sur-x1, Chilco-x1, Chercan-x1, Cisne Sur-x1, Ach.Mag.CrA-1x y Ach,Mag.CrB-1x (ANEXO 4). Y por último la **transecta C-C' (N-S plataforma oriental)** compuesta por los pozos: Paraguaya-3, Fortuna-2, Fortuna-1,Tagua-x1, Omeling-x1 y Carpintero-x1 (Figura 35).



Leyenda

- Pozos con datos petrofísicos
- Pozos con análisis sedimentológico
- A-A' Transecta NE-SW
- B-B' Transecta NW-SE
- C-C' Transecta N-S plataforma oriental

Figura 35. Mapa con ubicación de transectas para análisis Petrofísico, Contenido Orgánico Total y Parámetros Geomecánicos.

3.4.1 Resistividad y Rayos gamma

Los perfiles de resistividad permiten medir la resistividad de la roca y el fluido que contiene al paso de corriente de un lugar a otro; en este sentido, dado que la matriz de la roca no es conductora, su habilidad para transmitir corriente se debe a los fluidos que alberga. Es por ello que los hidrocarburos al no ser conductores, su presencia en la roca se ve reflejada por un aumento de la resistividad (Figura 36). Por el contrario, el agua salada es altamente conductiva y por ende posee menor resistividad.

Los perfiles eléctricos a lo largo de las transectas arrojaron que entre los horizontes C5 y C8 el valor de resistividad promedio aumenta como se puede ver para el pozo Lautaro-13 en la Figura 36, por lo tanto se puede estimar que en este horizonte existe un aumento relativo del contenido de hidrocarburos.

El registro de rayos gamma es una medición de la radioactividad natural de las rocas. En el caso de las formaciones sedimentarias, el registro normalmente refleja el contenido de arcilla, ya que elementos radiactivos tienden a concentrarse en arcillas y lutitas, especialmente el más abundante de ellos, el potasio. Las areniscas limpias, por otro lado, pueden ser poco o muy radiactivas, dependiendo de su contenido de feldespatos alcalinos.

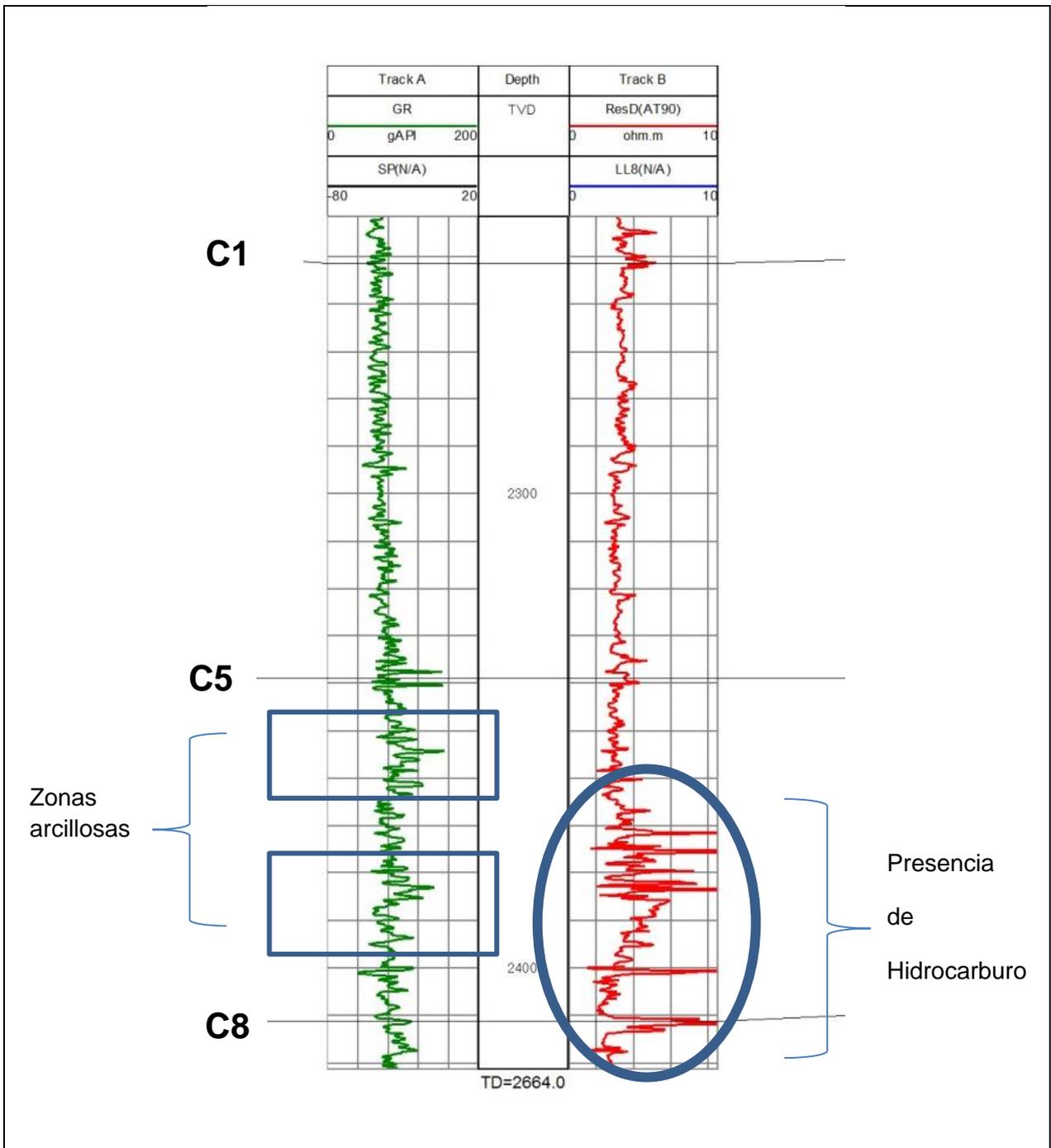


Figura 36. Pozo Lautaro-13. Perfil eléctrico rayos gamma (verde) y resistividad (rojo)

3.4.2 Porosidad

La porosidad (Φ) es otro parámetro importante, ya que se asocia a la fracción del volumen total de la roca que es ocupada por un fluido. La porosidad total es medida con registros neutrónicos, pero la porosidad efectiva es calculada partir de los registros de densidad o sónicos. Así, una roca de alta porosidad presentará mayor capacidad de albergar hidrocarburos.

En el gráfico de la Figura 37 se puede observar los valores estimados de porosidad promedio a partir del registro de densidad en 31 pozos (Tabla 1) de cada formación, donde se evidencia que la Formación Lutitas con Ftanitas presenta un leve aumento de porosidad respecto a la Formación Margas.

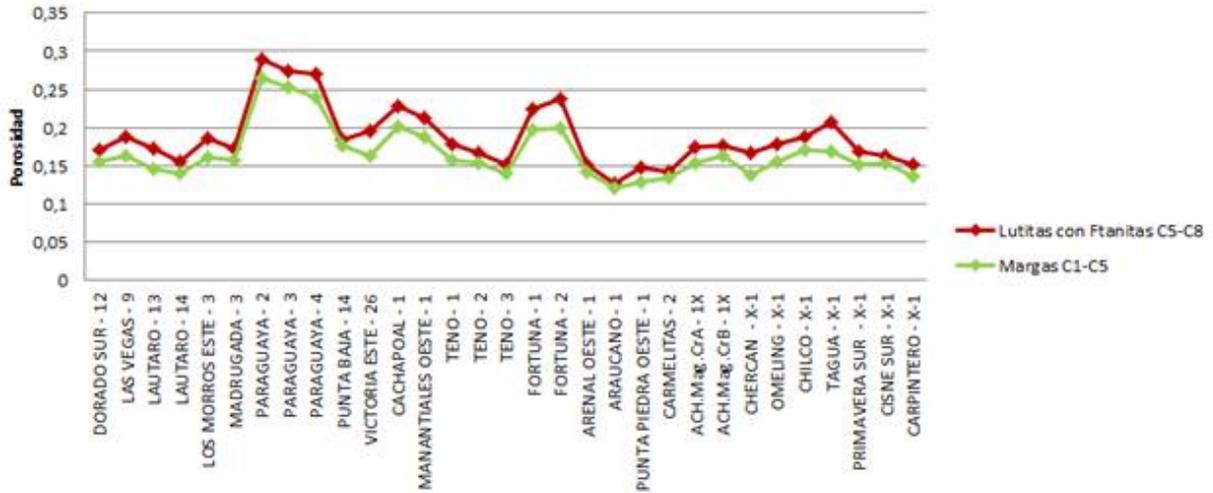


Figura 37. Diferencia de porosidad promedio entre la Formación Lutitas con Ftanitas y Formación Margas.

3.5 Geoquímica Básica

3.5.1 Contenido Orgánico Total (TOC)

La medición del contenido orgánico total (TOC) se usa para cuantificar en primera instancia la riqueza orgánica de la roca, proporcionando una escala semi-cuantitativa del potencial de generación de petróleo. Para que una roca sea generadora su TOC debe ser al menos 1%, siendo un valor bueno entre 2% a 5% y muy bueno si es >5% de TOC (McCarthy, et al., 2011). A partir de las transectas se puede observar mayor TOC entre los horizontes C5 a C8 (Figura 38) lo que coincide con la información deducida de los perfiles de resistividad

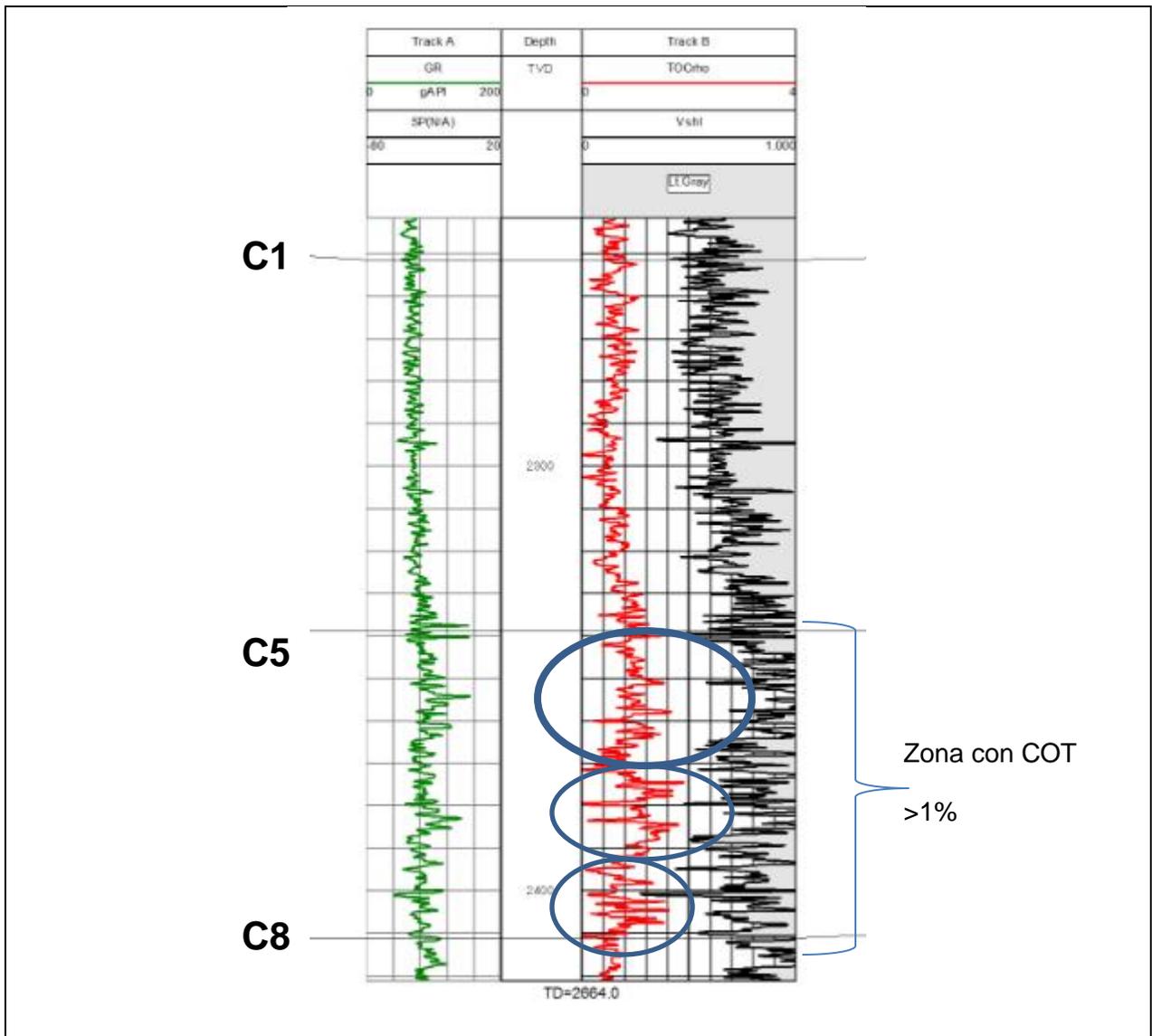


Figura 38. Pozo Lautaro-13.Registro de Contenido Orgánico Total (rojo), junto al registro de rayos gamma (verde).

3.5.2 Reflectancia de la Vitrinita (Ro)

Los valores obtenidos para la Reflectancia de la vitrinita en 23 muestras de 7 pozos (Tabla 3, Figura 8) indican valores de Ro de 0.8% a 1.08% a una profundidad entre 2600 m a 3600 m. Lo que indica que la ventana de generación de Petróleo se encontraría bajo el *marker* C5 en la Formación Lutitas con Ftanitas. De esta manera es posible estimar como se muestra en la Figura 39 la ubicación de un Reservorio tipo Shale Oil y Reservorio de baja permeabilidad de Gas.

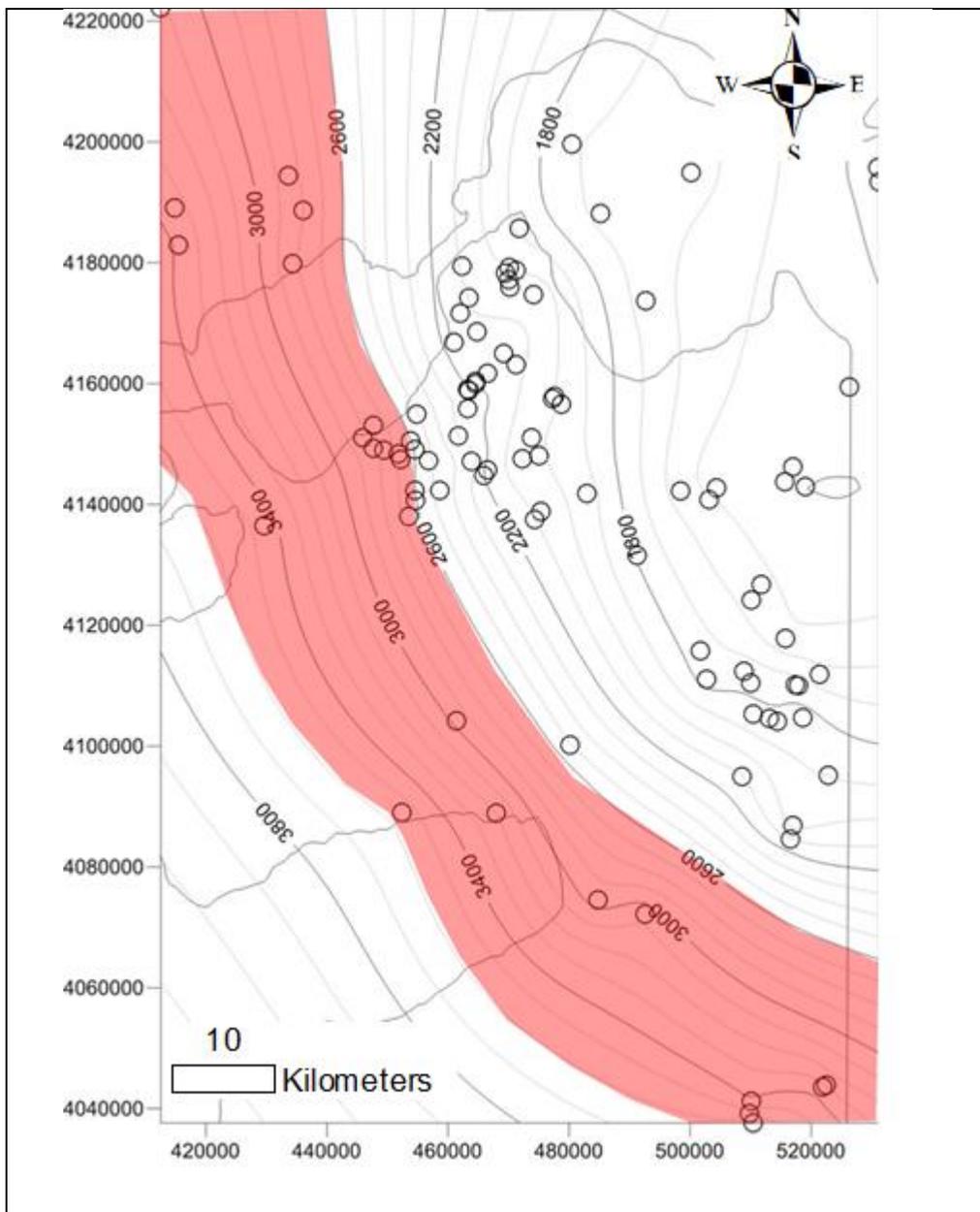


Figura 39. Mapa indicando la estimación de la ventana de generación de gas húmedo bajo el horizonte C5.

3.6 Diagrama Mineralógico-ternario

La mineralogía de las rocas de reservorio tipo Shale es un indicador de la resistencia de la roca. El contenido de cuarzo, carbonato y arcilla determinan de manera significativa los parámetros elásticos y por consiguiente cuando eficientemente la fractura hidráulica estimulará a la roca. En rocas que tienen un alto contenido arcilloso, tiende a comportarse de manera más dúctil frente a la estimulación hidráulica, por una parte se requiere alta energía de inyección y por otra debido a la ductilidad, la fractura tiende a cerrarse una vez terminado el proceso de estimulación (Askenazi, et al., 2013).

Con el fin de estimar la resistencia de la roca a partir del contenido mineral, se construye un diagrama ternario sílice-carbonato-arcilla a partir de los datos de difracción de rayos x (DRX) realizados por el laboratorio LCV en testigos y cutting para la Formación Lutitas con Ftanitas y la Formación Margas. Además se incluyen los porcentajes estimados de las muestras descritas en el subcapítulo 3.2 para las mismas formaciones.

En la Formación Lutitas con Ftanitas, los análisis de DRX y porcentuales estimados, señalan un mayor contenido de arcilla en aquellos pozos de la plataforma oriental (triángulos rojos), llegando a un 72% mientras que en el resto de la cuenca varía entre 8 a 47% de arcilla, le sigue sílice con un rango de 40 a 84% y por último, carbonato de 0 a 43%. La Figura 40 además permite apreciar la gran variabilidad en la composición de la Formación Lutitas con Ftanitas, siendo principalmente fangolitas síliceas ricas en arcilla con anomalías de fangolita calcárea. Por otro lado, la Formación Margas contiene menor porcentaje de arcillas 10 a 31%, 51 a 67% de sílice y, por último, de 10 a 26% de carbonatos, lo que se ve reflejado en una menor dispersión si se le compara con la Formación Lutitas con Ftanitas. Sin embargo, existen anomalías de pozos o muy calcáreos o muy arcillosos (triángulos verdes). En resumen la Formación Margas si bien tiene mayor porcentaje de carbonatos mantiene la litología de fangolita sílicea.

Por lo tanto, se tiene que tanto la Formación Lutitas con Ftanitas como la Formación Margas presentan baja resistencia a la fracturación, por su alto porcentaje en sílice. Aunque el límite oriental de la plataforma en la Formación Lutitas con Ftanitas presenta un compartamiento disímil con un porcentaje de arcilla > 50%.

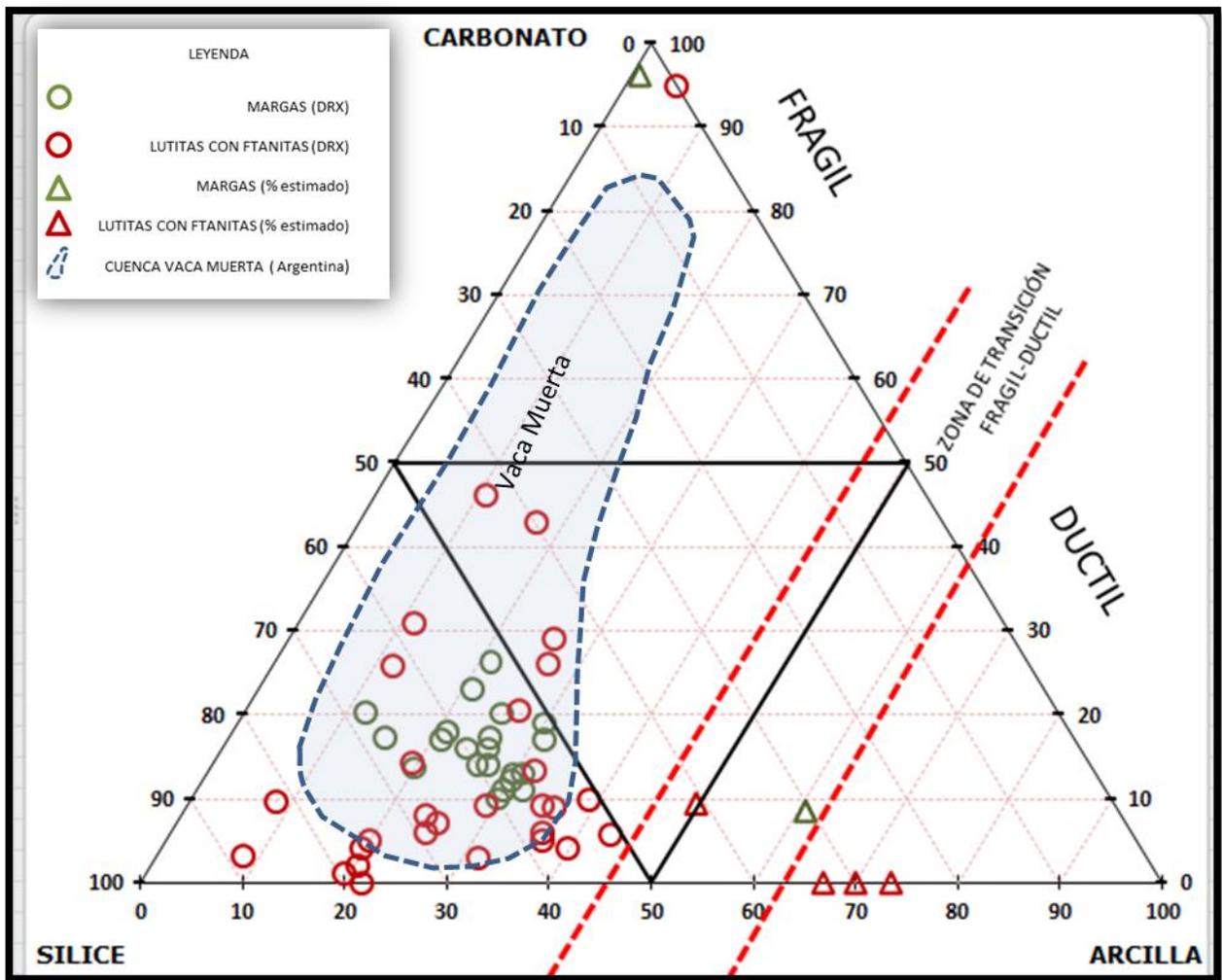


Figura 40. Diagrama ternario Sílice-Carbonato-Arcilla. Adaptado de Gamero-Díaz et. al (2012). Incluye distribución mineralógica de la Cuenca Vaca Muerta tomada de Askenazi et. al., (2013).

3.7 Parámetros Geomecánicos

Los reservorios hasta ahora reconocidos en el intervalo estratigráfico objeto de este estudio son no convencionales, de baja permeabilidad, particularmente tipo Shale. Con el fin de mejorar su condición productiva original, es necesario realizar procedimientos de estimulación, como por ejemplo de fracturación hidráulica, entre otros para que la producción sea económicamente rentable. Un requisito fundamental para predecir la factibilidad de la fracturación es conocer la resistencia de las rocas que conforman la zona de estudio. Dos parámetros utilizados para medir la resistencia de una roca y su deformación son el Módulo de Young y la Relación de Poisson.

En el siguiente gráfico (Figura 41) se muestra los valores del Módulo de Young y Relación de Poisson obtenidos para 33 pozos, parámetros que permiten estimar la resistencia de una roca y su deformación.

Para que un reservorio tipo Shale tenga las condiciones adecuadas para ser prospectivo, es decir, se pueda estimular a partir de fracturación hidráulica, debe presentar altos valores en el Módulo Young ($>3.5 \times 10^6$ psi) y bajos valores de la Relación de Poisson (< 0.3) (Slatt, 2013). Por lo tanto, con este procedimiento se puede inferir que ambas formaciones poseen pozos en los cuales es posible aplicar fracturamiento hidráulico. Sin embargo, sólo en la Formación Lutitas con Ftanitas se tiene presencia de hidrocarburos (subcapítulo 3.5) haciendo esta formación de interés para una futura exploración petrolera. El resto de las muestras si bien puede presentar hidrocarburos según el Módulo de Young y la Relación de Poisson su extracción sería menos viable debido a la dificultad para realizar fracturamiento hidráulico.

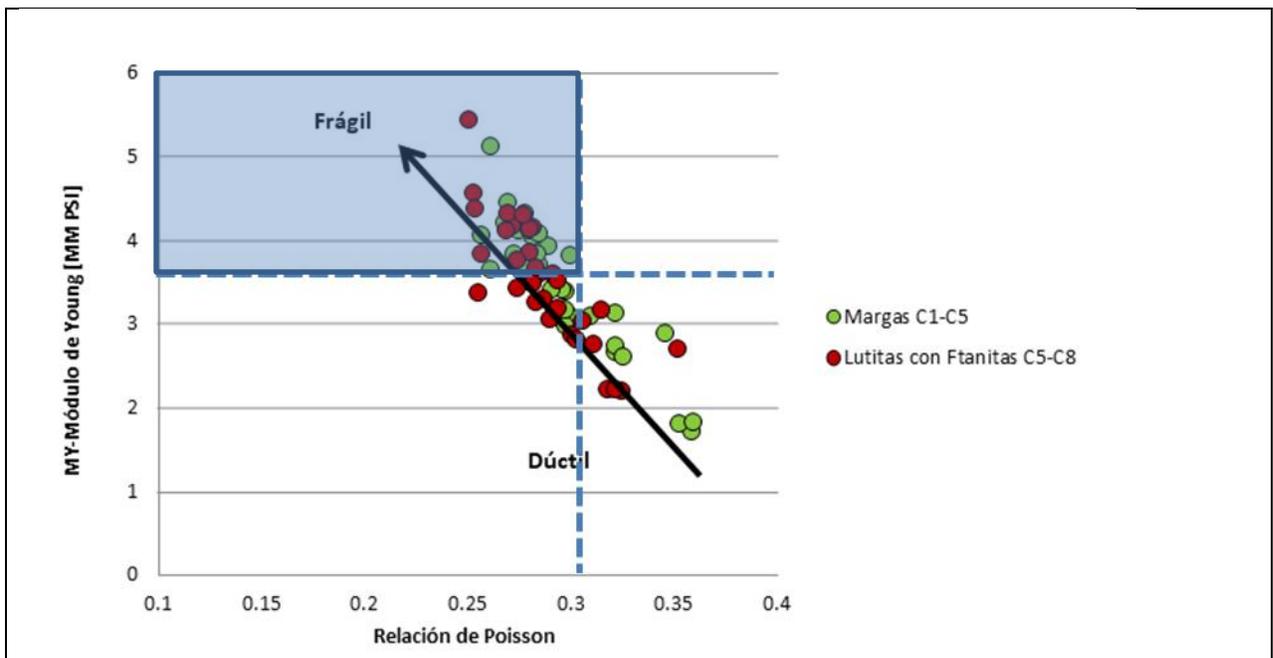


Figura 41. Parámetros geomecánicos determinado a partir de 33 pozos.⁴

3.8 Mapas Isópacos

Dentro de las características que más incidencia tienen en la interpretación y análisis de propiedades de rocas en la sección estratigráfica aquí analizada, está la distribución de espesores en la zona geográfica de nuestro interés. Esto, porque la distribución de

⁴ MM psi= 10^6 *psi unidad de presión

espesores está vinculado a la paleogeografía y a los mecanismos de dispersión y depositación de sedimentos.

El espesor de la Formación Lutitas con Ftanitas en el área de plataforma es uniforme, con variaciones locales que son reflejo de la reactivación tardía de fallas regionales. La interpretación regional sugiere, como se observa también en las secciones sísmicas regionales (Figura 14, 15, 16, y 17) que es un litosoma en forma de cuña desde la fuente de sedimentos. En este sentido se puede especular que para esta unidad existen dos fuentes; la más evidente es la proveniencia desde el oeste - noroeste, donde se ubican los remanentes del arco volcánico y la segunda fuente podría asociarse con el Macizo del Deseado ubicado al noreste de la zona de estudio (Figura 42). Esto es concordante con la frecuencia de sedimentos volcánicos identificados en diferentes niveles de esta unidad.

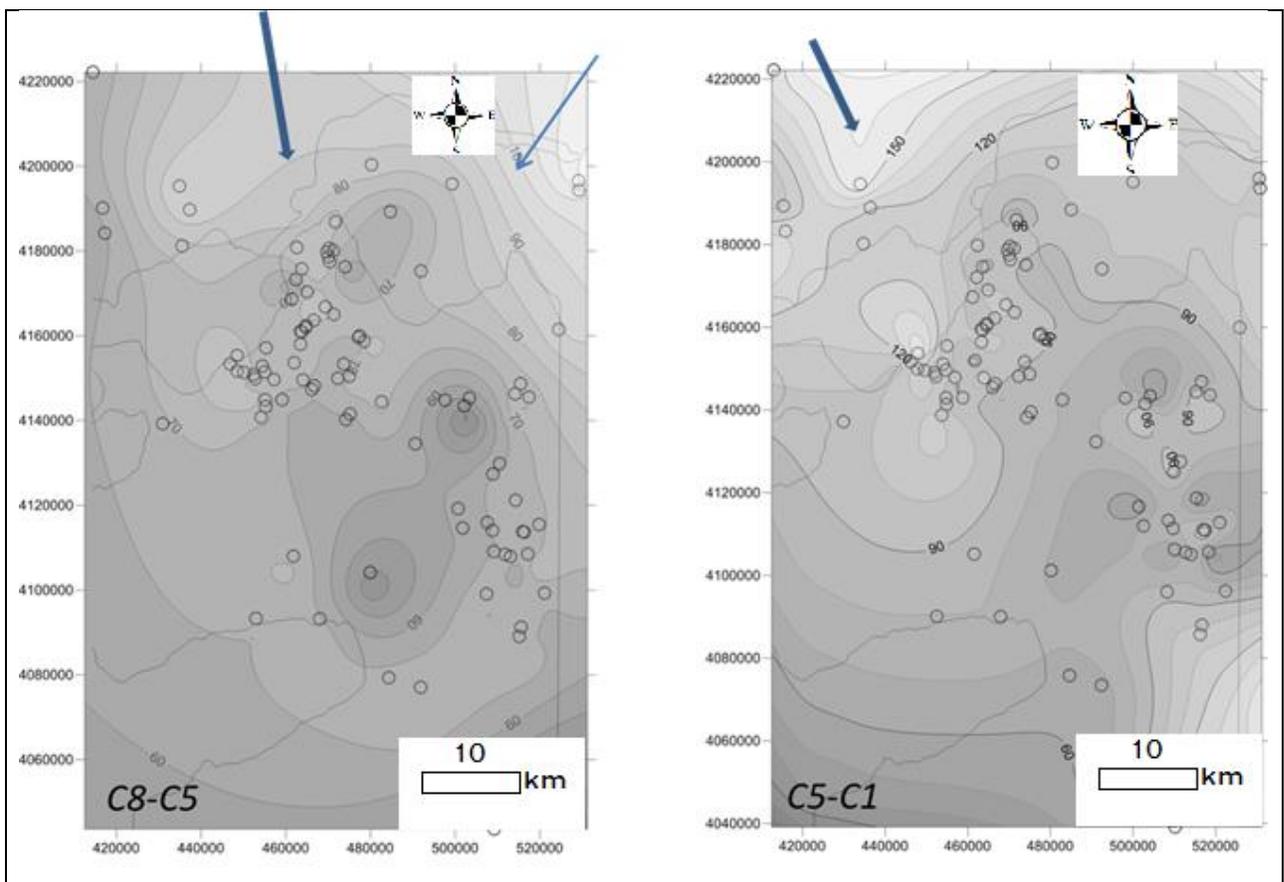


Figura 42. Mapa de espesor de los depósitos de la Formación Lutitas con Ftanitas (izquierda) y Margas (derecha) en el área analizada de la Cuenca de Magallanes, Flechas indican proveniencia de sedimentos (grosor de la flecha indica la importancia del aporte),

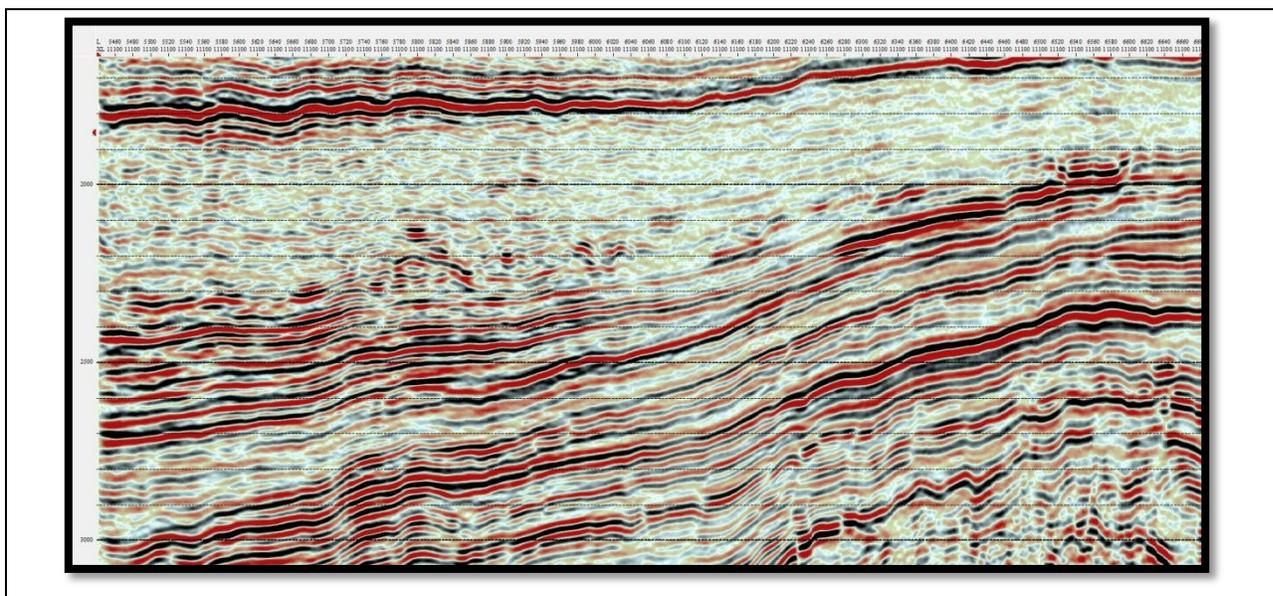
El mapa isópaco de la Formación Margas permite interpretar que la plataforma con aporte calcáreo está muy bien restringida y delimitada por la pendiente hacia la zona de proveniencia, cuestión que sugiere el inicio del alzamiento en una fase inicial de la faja

plegada y fallada. Hacia el sur-este no hay muchos indicios, pero es probable que la plataforma esté truncada por un talud en esa dirección.

4. DISCUSIONES

4.1 Sismoestratigrafía

A partir de la observación de los perfiles sísmicos, se distingue un acuñaamiento hacia el noroeste en el sector norte, específicamente en la sísmica 3D del bloque Dorado Riquelme, entre el *marker* C1 e inmediatamente sobre *marker* I10. Se puede observar como I10 se ve truncado por este acuñaamiento, por lo que hace inferir, que la superficie sísmica correspondiente al *marker* I10 sería una superficie sísmica de carácter erosional (Figura 43). En este estudio se propone que la zona acuñaada correspondería al primitivo bulbo periférico de una cuenca marginal en subsidencia flexural y termal atenuada, el cual se encuentra erosionado, e I10 marcaría el cambio de régimen de subsidencia térmica, al inicio del alzamiento, que posteriormente provocaría subsidencia flexural de tras-arco. Por lo tanto, el acuñaamiento del noroeste se debe a la erosión del techo de la Formación Lutitas Gris verdosas, pudiéndose observar en este sector, sólo la base de la Formación Lutitas Gris verdosas. Mientras que la Formación Margas correspondería a la última sucesión sedimentaria que se deposita en la cuenca marginal (Cuenca de Rocas Verdes).



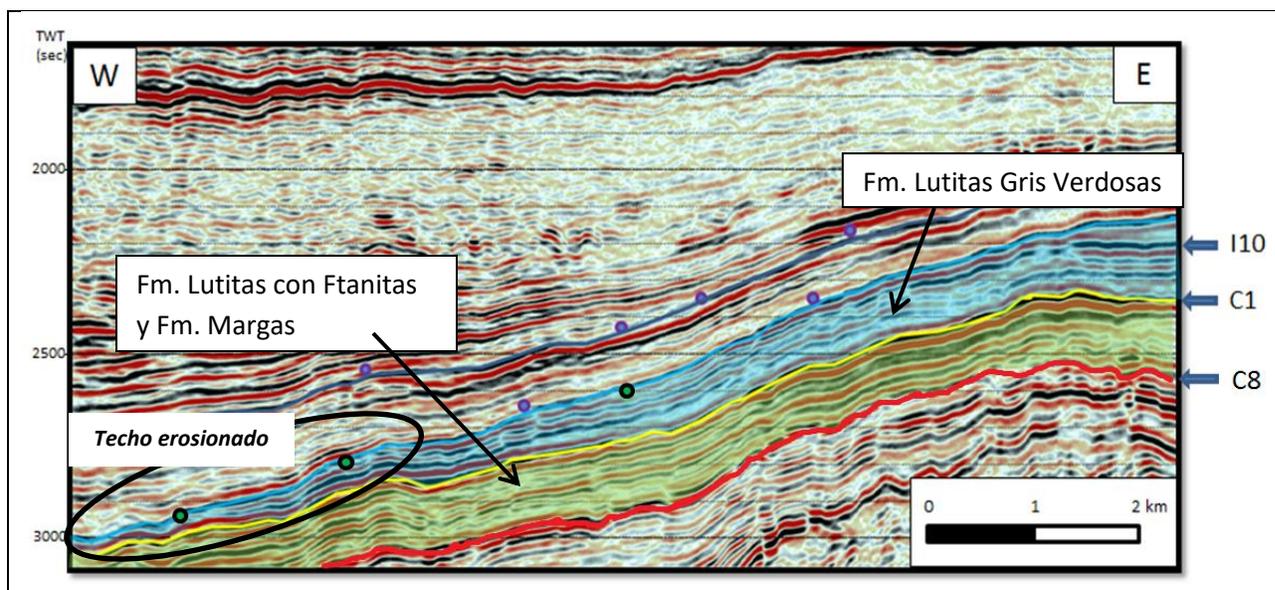


Figura 43. Sísmica 3D representativa entre el Barremiano-Cenomaniano. Sísmica limpia junto a su interpretación. Círculos morados indican terminaciones tipo onlap y verde tipo toplap, mientras que polígono azul representa la facies A y el polígono verde la facies B

4.2 Asociación de facies

Según lo expuesto en el subcapítulo 3.2 (Estudio sedimentológico) para las formaciones Lutitas con Ftanitas y Margas, junto a una correlación cronoestratigráfica coherente con las formaciones señaladas en el subcapítulo 2.2, es posible describir un ambiente dominado por lóbulos turbidíticos que evolucionan a lo largo de la cuenca.

Las turbiditas se pueden diferenciar por la proximidad de su fuente de alimentación e igualmente por el tamaño de grano (Anexo 5). De esta manera la Formación Lutitas con Ftanitas puede ser comparada con la unidad Td de la secuencia de Bouma y la Formación Margas con Te, ambas caracterizada por fango; es decir sedimentos pelágicos o de grano fino producido en la parte más distal de las corrientes de turbidez de baja densidad. Lo que se reafirma en los pozos Lautaro-13 y Dorado Sur-12 donde se evidencia parte de la secuencia de Stow y Shanmugam para turbiditas finas (Figura 44).

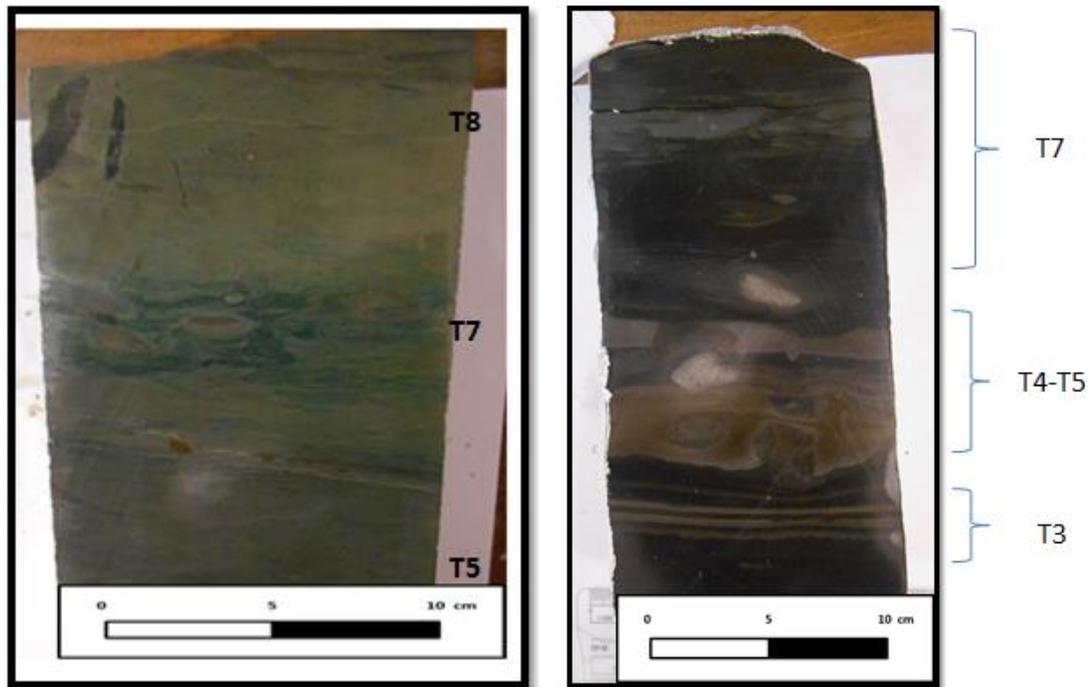


Figura 44. Pozo Dorado Sur-12 (izquierda) y Lautaro 13 (derecha) con parte de la secuencia de Stow-Shanmugam, (1980): T3: laminación paralela delgada, T4-T5 laminación indiferenciada a convoluta, T7 arcilla sin gradación con pseudonódulos de limo y T8 Hemi-pelágicos bioturbación

4.3 Ambiente depositacional

Las formaciones se componen esencialmente en fangolitas ricas en arcilla, lo cual se relaciona estrechamente con ambientes depositacionales de baja energía dominados por procesos de decantación. Por otro lado, la presencia de pirita y laminación fina en las rocas son evidencias de sedimentos pobres en oxígeno, o anóxicos, los cuales constituyen el mejor medio para la preservación de la materia orgánica. Los niveles bajos de oxígeno generan un ambiente reductor que protege el material orgánico de la oxidación, a la vez que restringen las actividades de especies bentónicas, ayudando a preservar estructuras sedimentarias. La presencia de bioclastos fragmentados se puede explicar por eventos de mayor energía relativa en la sección distal de flujos turbidíticos. Por último, la existencia de material volcanoclástico permite afirmar actividad volcánica coetánea ya evidenciada en las formaciones vecinas y más cercanas al arco volcánico cretácico, particularmente evidente en la Formación Lutitas con Ftanitas. El ambiente de la Formación Margas, sin embargo parece cambiar drásticamente, en el sentido que las facies volcánicas tienden a desaparecer, se produce una somerización por alzamiento del piso de la cuenca, condición que produce una marcada reducción de la materia orgánica acumulada y/o preservada. La suma de estas características se especula que tendría su origen en el inicio del cambio de régimen tectónico, que produciría la desaparición anticipada del arco volcánico.

4.4 Evolución paleoambiental entre la cuenca de tras-arco y de antepaís

Considerando que la Formación Canal Bertrand muestra turbiditas diluidas en su base pasando a turbiditas clásicas en su techo (Castelli, et al., 1992), como un indicador de la reactivación de sistemas turbidíticos, y además del alzamiento de la Cuenca de Rocas Verdes como motivo de reactivación de los lóbulos turbidíticos distales, es posible interpretar que las turbiditas se hayan extendido hacia la plataforma depositando los sedimentos hoy conocidos como Formación Lutitas con Ftanitas, Formación Vicuña y Formación Margas como una expresión de turbiditas distales. Respecto al distrito Springhill la Formación Margas representaría la última sucesión sedimentaria que se deposita en la cuenca marginal (Cuenca de Rocas Verdes) (Figura 45 A) lo que concuerda en edad con lo propuesto por Martinioni, et al., (2013) el cual señala a la Formación Beauvoir (Sierra Beauvoir, Argentina) como último depósito profundo de la previa cuenca marginal de Rocas Verdes en el Albiano tardío. Luego vendría la transición entre el régimen de subsidencia termal, al inicio del alzamiento, depositándose la Formación Lutitas Gris Verdosas (Figura 45 B). El cambio de régimen de subsidencia termal a inicio del alzamiento estaría marcado por la superficie sísmica de carácter erosional *marker* I10 que al noroeste erosiona el antiguo bulbo periférico de la cuenca marginal y por ende el techo de la Formación Lutitas Gris Verdosas en forma de acuñamiento. Finalmente el alzamiento ocurrido en el Cretácico Superior provocaría la subsidencia flexural de tras-arco que da origen a la cuenca de antepaís donde nuevamente ocurren sistemas turbidíticos pero desencadenados por subsidencia flexural de tras-arco y no por subsidencia termal.

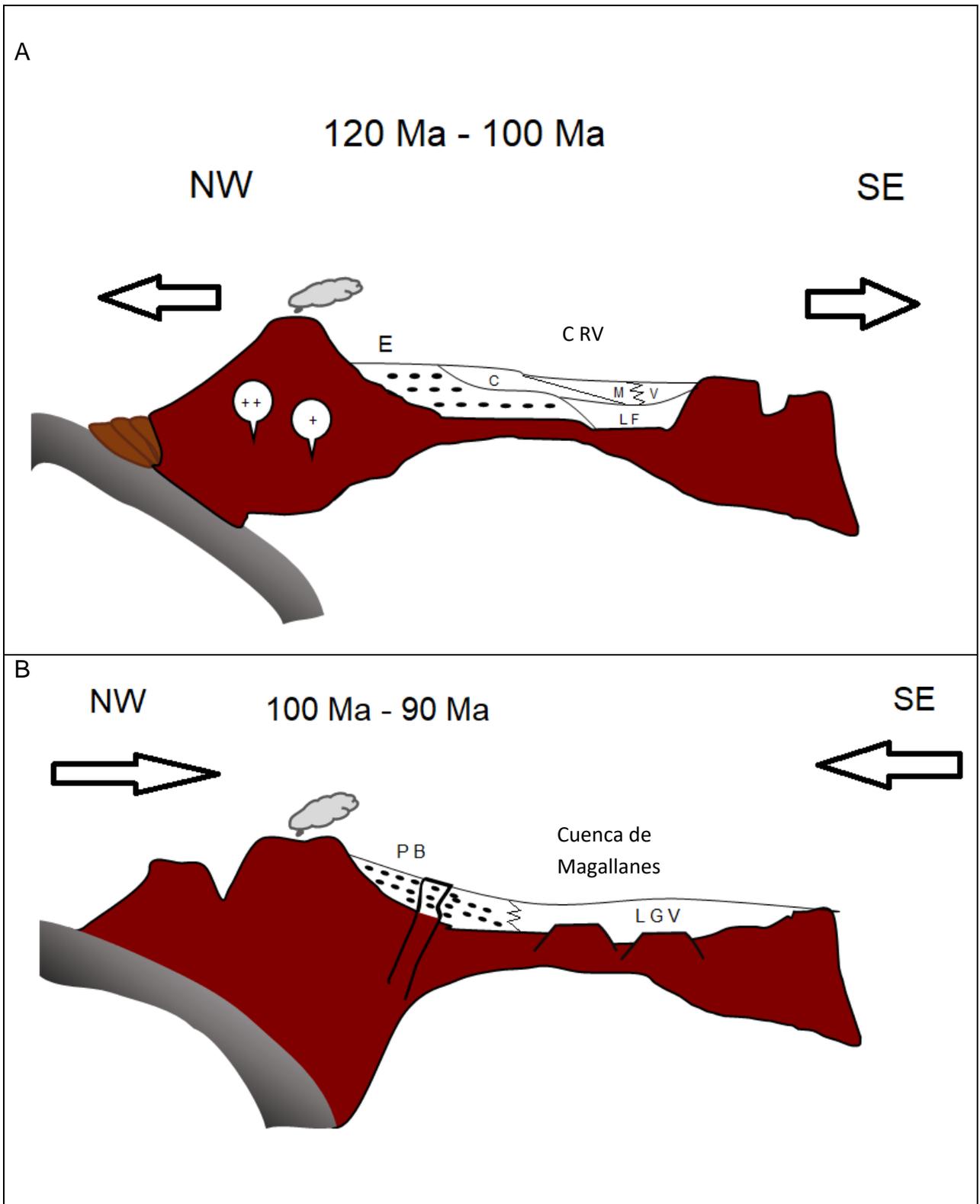


Figura 45 Figura esquemática de la evolución paleoambiental. Simbología: CRV=Cuenca de Rocas Verdes, E=Fm. Erezcano, LF=Fm. Lutitas con Ftanitas, M= Fm. Margas, V=Fm. Vicuña, PB=Fm. Punta Barrosa y LGV= Fm. Lutitas Gris Verdosas y C= Canal Bertrand.

4.5 Antecedentes para un futuro proyecto de exploración petrolera

Los antecedentes petrofísicos y otros antecedentes obtenidos durante la perforación de pozos con los que se cuenta para las formaciones Lutitas con Ftanitas y Margas supone la existencia de hidrocarburos entre los horizontes C5 y C8 correspondiente a la Formación Lutitas con Ftanitas. Entre estos antecedentes se infiere que el aumento de resistividad en este tramo, junto al aumento interpretado de contenido orgánico total superior al 1% y reflectancia de la vitrinita con kerógeno en ventana de generación de petróleo, indica que este horizonte es una potencial roca generadora de carácter regional. Esta interpretación es consistente con la información puntual obtenida en muestras de testigos de los pozos Albatros-6 y Nika Oeste-1 correspondiente a la Formación Lutitas con Ftanitas, en los cuales se ha identificado alto contenido de materia orgánica en sus sondajes. Sin embargo, la existencia de materia orgánica es un requisito importante pero, que requiere de otros factores para la factibilidad que un prospecto sea viable (geológicos, mineralógicos, petrofísicos, geomecánicos, geoquímicos y madurez de kerógeno).

La mineralogía de la Formación Lutitas con Ftanitas se compone principalmente por fangolitas silíceas ricas en arcilla, donde su contenido en arcilla aumenta en la zona de plataforma oriental como se puede ver en la Figura 40. Por lo tanto, tratándose de una roca de grano fino y de baja permeabilidad es indispensable la estimulación del reservorio arcilloso o apretado con la ayuda de fracturación hidráulica para su eventual explotación. En este sentido las características geomecánicas de la roca dadas por el Módulo de Young ($>3.5 \times 10^6$ psi) y Relación de Poisson (< 0.3) indicarían que en ambas formaciones (Formación Lutitas con Ftanitas y Formación Margas) es posible iniciar fracturamiento hidráulico (Tabla 5), pero sólo la Formación Lutitas con Ftanitas es de interés petrolero debido a sus manifestaciones de hidrocarburo.

Tabla 5. Cuadro comparativo para la Formación Lutitas con Ftanitas y Formación Margas.

Fm. Lutitas con Ftanitas	Relación de Poisson	Módulo de Young $\times 10^6$ psi	Porosidad	Fm. Margas	Relación de Poisson	Módulo de Young $\times 10^6$ psi	Porosidad
Promedio	0.29	3.45	0.19	Promedio	0.3	3.44	0.1
Máximo	0.35	5.42	0.29	Máximo	0.36	5.1	0.19
Mínimo	0.25	2.17	0.13	Mínimo	0.26	1.69	0.05
Desviación Estándar	0.02	0.71	0.04	Desviación Estándar	0.03	0.78	0.03

Además un análisis detallado de las transectas permite ver que los pozos ubicados en el límite occidental de la plataforma tienden a tener menor resistencia que los ubicados en la zona oriental, de esta manera la zona con mejor probabilidad de ser intervenida corresponde a la occidental lo que es coherente con la resistencia dada por su mineralogía Figura 40, donde la Formación Lutitas con Ftanitas cae dentro del rango de rocas frágiles debido a la existencia de sílice y carbonatos, pero aquellos ubicados en la zona oriental tienen comportamiento dúctil.

En el gráfico de la Figura 46, se puede apreciar que aquellos pozos ubicados en la transecta C-C' (N-S plataforma oriental) tienen menor Módulo de Young y mayor Relación de Poisson que la transecta A-A' (NE-SW) y la transecta B-B' ubicadas en la zona occidental de la cuenca (Figura 35)

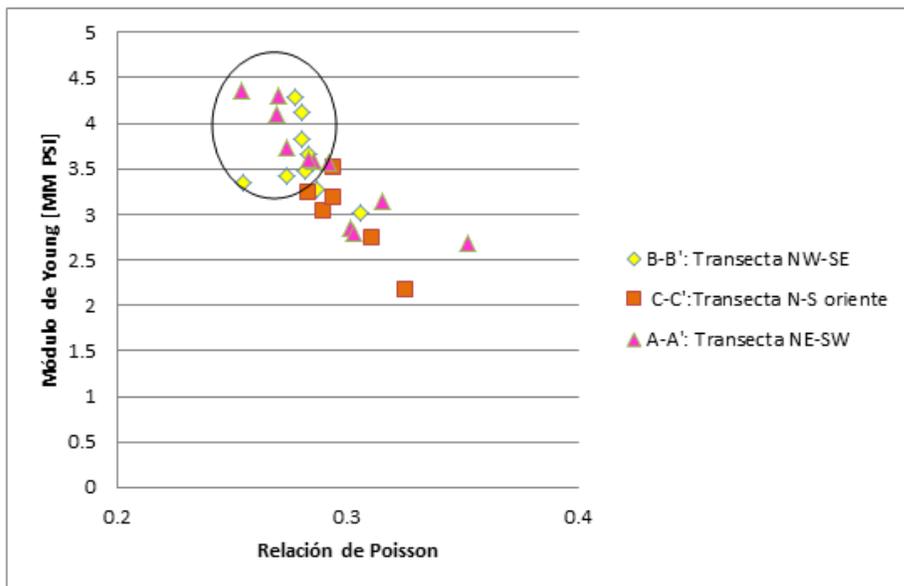


Figura 46. Comparación de parámetros geomecánicos en transectas para la Formación Lutitas con Ftanitas

Finalmente respecto a la Formación Margas, su contenido orgánico total interpretado es inferior al 1% y presenta menor resistividad, esto indicaría que esta formación en general no tiene potencial de generación de hidrocarburos como tampoco contiene hidrocarburos migrados. Puntualmente aunque algunos pozos demostraron manifestaciones no es un buen candidato como reservorio no convencional, al menos en la zona estudiada.

Su mineralogía permite entender la evolución que sufrió la cuenca al pasar de sedimentos arcillosos a sedimentos con mayor contenido de carbonatos lo cual fue explicado por Mella (2001) como disminución en la velocidad de subsidencia termal, lo cual permitió la somerización de los depósitos silicoclasticos de plataforma (Miembro Superior Fm. Erezcano, Fm. Lutitas con Ftanitas) y en la evolución a facies carbonatadas (Fm. Vicuña y Fm. Margas).

5. CONCLUSIONES

- La Formación Lutitas con Ftanitas y Formación Margas pertenecen a la parte más distal de una sucesión de turbiditas siliciclásticas que habrían ocurrido producto de subsidencia termal que da origen a la Cuenca marginal de Rocas Verdes durante el Barremiano-Cenomaniano.
- Las facies definidas para la Formación Lutitas con Ftanitas consisten en: wacka/fangolita biogénica, fangolita con laminaciones de limolita, laminación ondulítica de fangolita-limolita y argilita. Por otro lado, las facies definidas para la Formación Margas consiste en: fangolita, mudstone bioturbado con intercalación de caliza, wackestone con fragmentos de pelecípodos y wackestone biogénico con laminaciones cálcareas.
- A través de los mapas isópacos se puede observar un aporte detrítico desde el oeste-noroeste para la Formación Lutitas con Ftanita. Al noroeste se puede interpretar la presencia de un arco volcánico.
- Los depósitos de la Formación Lutitas con Ftanitas son comparables a la facie Td de la secuencia de turbiditas clásicas de Bouma (1962) y T5 a T7 en la secuencia de turbiditas de grano fino de Stow y Shanmugam, (2006). Mientras que los depósitos de la Formación Margas corresponden a la facie Te de turbiditas clásicas de Bouma (1962) y T5 a T8 de la secuencia de turbiditas de grano fino de Stow y Shanmugam, (2006).
- De acuerdo a los análisis de resistividad, contenido orgánico total estimado, y reflectancia de la vitrinia los depósitos entre los *markers* C5-C8 correspondiente a la Formación Lutitas con Ftanitas indicarían que la roca es generadora de hidrocarburos. Mientras que la Formación Marga en la zona estudiada no presenta indicadores de presencia de hidrocarburos.
- Los eventuales reservorios no convencionales identificados en la Formación Lutitas con Ftanitas al estar conformada por rocas de baja permeabilidad requieren la estimulación por fracturamiento hidráulico. Los parámetros geomecánicos indican un módulo de Young entre 2.17×10^6 psi a 5.42×10^6 psi y una Relación de Poisson entre 0.25 a 0.35, condiciones adecuadas para hacer viable y efectivo un proceso de estimulación con fracturas hidráulicas.
- La estimación de resistencia de la roca a partir de la mineralogía indican que ambas formaciones presentarían comportamiento frágil. Aunque pozos ubicados en la zona oriental de la plataforma para la Formación Lutitas con Ftanitas presentan un contenido de arcilla mayor 50% lo que indica que la roca es más dúctil, por tanto no recomendable para ser estimulada en esa área.
- En conclusión los depósitos de las formaciones Lutitas con Ftanitas y Margas corresponden a los últimos depósitos de relleno de la cuenca marginal, Cuenca

de Rocas Verdes. La condiciones anóxicas de la Formación Lutitas con Ftanitas permitió la preservación de materia orgánica, que debido a su litología de grano fino y baja permeabilidad es posible señalarla como reservorio no convencional tipo Shale.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez-Marrón, J., 1993. Geometry and Evolution of the Frontal Part of the Magallanes Foreland Part of the Magallanes Thrust and Fold Belt (Vicuña Area), Tierra del Fuego, Southern Chile. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Volume 77, pp. 1904-1921.

Askenazi, A. et al., 2013. Analogía entre la Formación Vaca Muerta y Shale Gas/Oils Plays de EEUU. *Society of Petroleum Engineers*.

Barwick, J. S., 1951. Geology of Blanco-lago Chico-lago Lynch, río Blanco área, T del Fuego. *Informe técnico ENAP (inédito)*.

Biddle, K. T. et al., 1986. The stratigraphic and structural evolution of the central and eastern Magallanes Basin, southern South America. *Special Publication 8, Association of Sedimentologists*, pp. 41-61.

Biddle, K. T. et al., 1988. The stratigraphic and structural evolution of the central and eastern Magallanes Basin, southern South America. *En Foreland Basins (ed. P.A. Allen y P. Homewood), Special Publication of the International Association of Sedimentologists*, Volume 8, pp. 41-61.

Bouma, A. H., 1962. Sedimentology of Some Flysch Deposits: A graphic approach to facies interpretations. Amsterdam: Elsevier. p. 168.

Bravo, P. & Herrero, C., 1991. Reservorios Naturalmente fracturados en rocas volcánicas Jurásicas Cuenca de Magallanes, Chile. *Informe técnico ENAP (inédito)*.

Briceño, M. et al., 2017. Programa fracturas hidráulicas en unidades del Cretácico inferior. *Informe técnico ENAP (inédito)*.

Bruhn, J., 1979. Rock structures formed during back-arc basin deformation in the Andes of Tierra del Fuego. *Bulletin Geological Society*, Volume 90, pp. 998-1012.

Bruhn, R., Stern, C. & De Witt, M., 1978. Field and geochemical data bearing on the development of a mesozoic volcano-tectonic rift zone and back arc southernmost South America. *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 41, pp. 32-46.

Cañón, A., 2000. Nuevos antecedentes en la estratigrafía de la cuenca de Magallanes. *Anales Instituto Patagonia, Serie Cs. Nat, (Chile)*, Volume 28, pp. 41-50.

Castelli, J. C., Robertson & Harambour, S., 1992. Evaluación geol. y petrolera bloque U. Esperanza sur e isla Riesco. *Informe técnico ENAP (inédito)*.

- Cecioni, G., 1955. Edad y facies del grupo Springhill en Tierra del Fuego. *Anales Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile*, Volume 12, pp. 243-256.
- Céspedes, S., 1963. Reconocimiento geol. del área entre seno Skyring y estrecho de Magallanes. *Informe técnico ENAP (inédito)*.
- Charrier, R. & Lahsen, A., 1965. El límite cretácico-terciario entre el Seno Skring y el Estrecho de Magallanes. *Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología, Santiago*.
- Cortés, R., 1964. Estratigrafía y un estudio de paleocorrientes del Flysch cretáceo del Departamento de Última Esperanza, Provincia de Magallanes. *Memoria de Título, Universidad Técnica del Estado, Departamento de Ingeniería Civil de Minas*.
- Cortés, R. & Valenzuela, 1960. Estudio geol. área lago Blanco-hito XIX-monte Hope, T. Fuego.. *ENAP. inéd., clas., 1-01-078*.
- Covacevich, V., 1991. Estudio paleontológicos y biostratigráficos en la costa norte de Isla Riesco e interior de Seno Skyring, Región de Magallanes. *Informe técnico ENAP (inédito)*.
- Cunningham, W. D., 1995. Orogenesis at the southern tip of the Americas: The structural evolution of the Cordillera Darwin metamorphic complex, southernmost Chile. *Tectonophysics*, Volume 244, pp. 197-229.
- Dalziel, I., 1981. Barck arc extension in the southern Andes. *A review a critical reappraisal. Philosophical Transaction of the Royal Society, London A*, Volume 300, pp. 319-335.
- Dalziel, I., De Witt, M. & Palmer, K., 1974. A fossil marginal basin in the southern Andes. *Nature*, Volume 250, pp. 291-294.
- Dott, R., 1964. Wacke, greywacke and matrix-what approach to immature sandstone classification?. *Journal of Sedimentary Petrology*, Volume 34, pp. 625-632.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to their depositional texture, in W. E. Ham, ed. *Classification of Carbonate Rocks: Tulsa, OK, American Association of Petroleum Geologists Memoir*, Volume 1, pp. 108-121.
- Fildani, A., Cope, T. D., Graham, S. A. & Wooden, J. L., 2003. Initiation of the Magallanes foreland basin: Timing of the southernmost Patagonian Andes orogeny revised by detrital zircon provenance analysis. *Geology*, 31(12), pp. 1081-1084.

- Fildani, A. & Hessler, A. M., 2005. Stratigraphic record across a retroarc basin inversion: Rocas Verdes-Magallanes Basin, Patagonian Andes, Chile. *Geological Society of America Bulletin*, 117(11-12), pp. 1596-1614.
- Fildani, A., Hubbard, S. M. & Romans, B. W., 2009. Stratigraphic Evolution of Deep-Water Architecture. Examples of controls and depositional styles from the Magallanes Basin, southern Chile. *Outcrop Atlas and Field Guide For SEPM Research Conference*, Issue 10, pp. 9-17.
- Folk, A. L., Andrews, P. B. & Lewis, D. W., 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, Volume 13, pp. 937-968.
- García, F. & Cortés, R., 1952. Geología de superficie en la parte sur este de isla Riesco. *Informe inédito, Archivo Técnico ENAP*.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C., 2004. Ingeniería Geológica. p. 163.
- González, E. & Barwick, J., 1951. Structural mapping portions Estancias Invierno and Tita, Isla Riesco. *Informe inédito, Archivo Técnico ENAP*.
- González, E., 1952. Levantamiento geológico estructural en el área de Estancia El Salto-Sección Las Coles. *Informe interno, Archivo Técnico ENAP*.
- Gust, D., Biddle, K., Phelps, D. & Uliana, M., 1985. Associated Middle to Late Jurassic volcanism and extension in southern South America Tectonophysics. Volume 116, pp. 223-253.
- Harambour, S., Urgua, F. & Aguirre, G., 1989. Evaluación geológica y petrolera Bloque 7 Tierra del Fuego: Internal report. *Archivo Técnico ENAP Magallanes*, p. 46.
- Harambour, S. & Soffia, J. M., 1988. Transición de margen pasivo a cuenca de antepaís: síntesis evolutiva para el extremo norte de Última Esperanza, Magallanes, Chile. *V Congreso Geológico Chileno*, Volume 2, pp. A385-A402.
- Herrero, C., Mella, P., Moraga, J. & Donoso, L., 1999. Cuenca de Magallanes: Situación actual y proyección de la exploración, Departamento de exploraciones. *Informe inédito, Archivo Técnico ENAP*, p. 34.
- Hervé, F. et al., 1981. The Late Paleozoic in Chile: stratigraphy, structure and possible tholeiitic framework. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 53(2), pp. 363-373.
- Hollister, J. S., 1943. Preliminary report of three structures on the Brunswick Peninsula. *Informe inédito, Archivo Técnico ENAP*.

- Katz, H. R., 1960. Revision of Cretaceous stratigraphy in the Patagonian Cordillera of Ultima Esperanza, Magallanes. *Informe Técnico ENAP*.
- Keidel, I. & Hemmer, A., 1931. Informe preliminar sobre las investigaciones efectuadas en la región petrolífera de Magallanes en los meses de verano de 1928-1929 (12-XII-1929). *Boletín Minero, Sociedad Nacional de Minería*, 48(388), pp. 706-717.
- Malkowski, M. A., Sharman, G. R. & Graham, S. A., 2015. Characterization and diachronous initiation of coarse clastic deposition in the Magallanes-Austral foreland basin, Patagonian Andes. *Basin Research*, 29(1), pp. 298-326.
- Martinioni, D., Olivero, E., Medina, F. & Palamarczuk, S., 2013. Cretaceous stratigraphy of Sierra de Beauvoir, Fuegian Andes, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 70(1), pp. 70 - 95.
- McCarthy, K. et al., 2011. La geoquímica básica del petróleo para la evaluación de las rocas generadoras. *Oilfield Review*, 23(2).
- Mella, P., 2001. Control tectónico en la evolución de la cuenca de antepaís de Magallanes, XII Región de Magallanes. *Memoria de título. Universidad de Concepción*.
- Middleton, G. V. & Hampton, M. A., 1976. Subaqueous Sediment Transport and Deposition by Sediment Gravity Flows.
- Moraga, J., 1986. Informe de avance campañas precordillera entre Seno Skyring y Península Brunswick. *Inédito. Archivo Técnico ENAP- Magallanes*.
- Moraga, J., 2013. Introducción a la estratigrafía de secuencias. *Seminario. Universidad de Chile*.
- Mordojovich, C., 1948. Descripción de testigos. *Informe inédito, Archivo técnico ENAP*.
- Mordojovich, C., 1951. Geología de subsuperficie, Península Espora, Tierra del Fuego Informe inédito. *Archivo Técnico ENAP*.
- Mpodozis, C., 2004. Evolución tectónica de la Patagonia Austral y Cuenca de Antepaís de Magallanes. *Informe Inédito, Archivo técnico, ENAP*.
- Mpodozis, C., 2006. Revisión de la estratigrafía y facies de la cuenca de antepaís cretácica entre Lago Argentino y Península Brunswick. *Informe Técnico (inédito) ENAP*, p. 161.
- Mpodozis, C., Mella, P. & Padva, D., 2011. Estratigrafía y Megasecuencia sedimentarias en la Cuenca Austral-Magallanes, Argentina y Chile.
- Mutti, E., 1992. Turbidite sandstones. *AGIP-Instituto di Geologia Università di Parma*, p. 275.

- Mutti, E. et al., 2003. Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins.. *Marine and Petroleum Geology* , Volume 20, pp. 733-755.
- Mutti, E. et al., 1999. An introduction to the analysis of ancient turbidite basins from an outcrop perspective. *American Association of Petroleum Geologists Continuing Education Course Note*, Volume 39, pp. 1-96.
- Nelson, E., Dalziel, Y. & Milnes, A., 1980. Structural geology of the Cordillera Darwin-collisional style orogenesis in the southernmost Chilean Andes. *Eclogae Geologicae Helvetica*, 73(3), pp. 727-751.
- Olivero, E. B. & Martinioni, D. R., 2001. A review of the geology of the Argentinian Fuegian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* , Volume 4, pp. 175-188.
- Pankhurst, R., Riley, T., Fanning, C. & Kelley, S., 2000. Episodic silicic volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: chronology of magmatism associated with the breakup of Gondwana. *Journal of Petrology*, Volume 41, pp. 605-625.
- Prades , C. F., 2008. Petrología y metamorfismo de las rocas basálticas en Isla Capitan Aracena, Isla Carlos III y Estero La Pera, Región de Magallanes, Chile. *Memoria de título, Universidad de Chile*.
- Prieto, X., 1992. Estratigrafía y ambientes de depositación durante el Cretácico Inferior, Seno Última Esperanza y Seno Obstrucción, Región de Magallanes, Chile.. *Anales Instituto Patagonia.*, *Serie Ciencias Naturales (Chile)*, Volume 21, pp. 73-83.
- Prieto, X., 1994. Geología regional del sector comprendido entre Seno Última Esperanza y Seno Obstrucción: precordillera de la región de Magallanes. *Trabajo de título, Universidad de Chile*, p. 142.
- Riccardi, A. C., 1990. Informes paleontológico realizados para el Distrito Precordillera en Tierra del Fuego. *Informe técnico ENAP (inédito)*.
- Rojas, L. & Harambour, S., 1993. Geología geofísica y delimitación de proyectos, bloque lago blanco, T Fuego. *Informe técnico ENAP (inédito)*.
- Shanmugam, G., 2006. Deep-water processes and facies models, Implications for Sandstone Petroleum Reservoirs. Amsterdam, Elsevier. *Handbook of petroleum exploration and production*, Volume 5, p. 473.
- Slatt, R., 2013. Stratigraphic Reservoir Characterization for Petroleum Geologists, Geophysicists, and Engineers. *Elsevier*, Volume 61, pp. 1-671.
- Soffia, J., 1988. Evaluación Geológica y Petrolera del Sector sur de la Provincia de Última Esperanza. *Informe Técnico ENAP (inédito)*.

- Soffia, J. M. & Harambour, 1988. Evaluación feológica y petrolera del extremo norte de última Esperanza. *Informe técnico (inédito) ENAP*.
- Stern, C. R., 1991. Isotopic Composition of Late Jurassic and Early Cretaceous mafic igneous rocks from the southernmost Andes: Implications for sub-Andean mantle. *Revista Geológica de Chile*, 18(1), pp. 15-23.
- Stern, C. R., Mohseni, P. P. & Fuenzalida, R., 1991. Petrochemistry and tectonic significance of Lower Cretaceous Barros Arana Formation basalts, southernmost Chilean Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 4, pp. 331-342.
- Stow, D. & Shanmugam, G., 1980. Sequence of Structures in fine-grained turbidites: Comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments. *Sedimentary Geology*, Volume 25, pp. 23-42.
- Suarez, M. & Pettigrew, T. H., 1976. An Upper Mesozoic island arc-back arc system in the southern Andes and South Georgia. *Geological Magazine*, Volume 113, pp. 305-328.
- Thomas, C. R., 1949. Geology and petroleum exploration in Magallanes Province, Chile. *Bulletin American Association of Petroleum Geologists*, Volume 70, pp. 1555-1578.
- Uliana, M. A., Biddle, K. & Cerdan, J., 1989. Mesozoic Extension and the Formation of Argentine Sedimentary Basins. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, pp. 599-614.
- Valenzuela, H. & Cortés, R., 1960. ESTUDIO GEOLOGICO DEL AREA LAGO BLANCO- HITO XIX - MONTE HOPE (PORCION SUR-CENTRAL DE TIERRA DEL FUEGO). *Archivo Técnico ENAP*.
- Walker, R. G., 1976. Facies Models 2. Turbidites and associated coarse clastic deposits. *Geosci.Can*, Volume 3, pp. 25-36.
- Wilson, T. J., 1991. Transition from back-arc to foreland basin development in the southernmost Andes: Stratigraphic record from the Ultima Esperanza District, Chile. *Geological Society of America Bulletin*, 103(1), pp. 98-111.
- Winslow, M., 1980. Mesozoic and Cenozoic tectonics of the fold and thrust belt in southernmost South America and stratigraphic story of the cordillera margin of the Magallanes Basin. *Unpublished Ph.D. dissertation. Columbia University, New York*.

ANEXO 1

Leyenda Figura 11. Mapa Magallanes (ENAP)

Q3i: Volcánico (Cuaternario)
Q1g1: Sedimentario (Pleistoceno-Holoceno)
Q1: Sedimentario (Pleistoceno-Holoceno)
PPI3: Volcanico (Plioceno-Pleistoceno)
PEg: Intrusivo (Paleoceno-Eoceno)
Pa1m: Sedimentario (Paleoceno)
OM1m: Sedimentario marino (Oligoceno-Mioceno)
OM1c: Sedimentario continentales (Oligoceno-Mioceno)
MP3: Volcánico y Volcánico-sedimentario (Mioceno-Plioceno)
Mg: Intrusivo (Mioceno)
M3b: Volcanico (Mioceno)
M2c: Volcanico-sedimentario (Mioceno Inferior-Medio)
M1m: Sedimentario (Mioceno)
M1c: Sedimentario (Mioceno Inferior-Medio)
KTg(a): Intrusivo granodioritas, dioritas y pórfidos graníticos (Cretácico Superior- Terciario Inferior)
KTg: Intrusivo (Cretácico Superior- Terciario Inferior)
Ksg: Intrusivo (Cretácico Superior)
Ks2m: Volcanosedimentario (Cretácico Superior)
Ks1mp: Sedimentario (Campaniano- Maastrichtiano)
Ks1m: Sedimentario (Cretácico Superior)
Jsg: Intrusivo (Jurásico Medio-Superior)
JK3o: Volcánico (Jurásico-Cretácico)
JK3: Volcánico (Jurásico Superior-Cretácico Inferior)
JK1m: Sedimentario (Jurásico Superior-Cretácico Inferior)
J3a: Volcánico (Jurásico)
EM1m: Sedimentario (Eoceno-Mioceno)
E1m: Sedimentario (Eoceno)
DC4: Metamórfico (Devónico-Carbonífero)
CP2m: Volcano-Sedimentario (Carbonífero-Pérmico)
PPI3: Volcanico (Plioceno-Pleistoceno)
Kig: Intrusivo (Cretácico Inferior)

ANEXO 2

Muestras de laboratorio de Contenido Orgánico Total

POZ	PROFUNDIDAD [M]	COT %
Lautaro-13	2372	1.705
Lautaro-13	2372.3	1.452
Lautaro-13	2372.6	0.21325
Lautaro-13	2372.9	2.743
Lautaro-13	2373.2	2.188
Lautaro-13	2373.5	1.22
Lautaro-13	2373.8	1.862
Lautaro-13	2374.1	0.9512
Lautaro-13	2374.4	2.037
Lautaro-13	2374.7	0.2654
Lautaro-13	2375	2.361
Lautaro-13	2375.3	2.543
Lautaro-13	2375.6	0.1346
Lautaro-13	2375.9	2.181
Lautaro-13	2376.2	1.268
Lautaro-13	2376.5	1.748
Lautaro-13	2376.8	1.77
Lautaro-13	2377.1	2.038
Lautaro-13	2377.4	1.566
Lautaro-13	2377.7	0.4672
Lautaro-13	2378	2.5335
Lautaro-13	2378.3	1.036
Lautaro-13	2378.6	0.9573
Lautaro-13	2378.9	1.784

ANEXO 3

Datos de DRX para las formaciones Margas y Lutitas con Ftanitas

CARBONATO %	ARCILLA %	SILICE %	Pozos	Profundidad [m]
14	26	60	KIMIRI AIKE SUR-3	2740.50- 2745.00
16	24	60	KIMIRI AIKE SUR-3	2754.00- 2758.50
13	30	57	KIMIRI AIKE SUR-3	2821.50- 2826.00
17	31	52	LAUTARO-13	2.33E+03
13.6842	20	66.3158	LAUTARO SUR-7	2.53E+03
11	32	57	PALENQUE NORTE-12	3600
20.202	25.2525	54.5455	PALENQUE NORTE-12	3639
19	30	51	PALENQUE NORTE-12	3660
17.3469	25.5102	57.1429	PALENQUE NORTE-12	3702
17.3469	15.3061	67.3469	TENO-1	2105-2110
20.2381	11.9048	67.8571	TENO-1	2170-2175
16	26	58	Gregorio-1	3493- 3497.5
13	31	56	Gregorio-1	3511- 3515.5
12.1212	30.303	57.5758	Gregorio-1	3524.5- 3529
11	30	59	Gregorio-1	3547-3551
14	27	59	Gregorio-1	3587-3592
10	30	60	Gregorio-1	3596-3601
23	21	56	CABAÑA NORTE-1	2715-2720
18	21	61	CABAÑA NORTE-1	2730-2735
17	21	62	CABAÑA NORTE-1	2770-2775
26.26	21.21	52.53	CARANCHO-1	2865
9	36	55	KIMIRI AIKE SUR-3	2848.50- 2853.00
8	24	68	KIMIRI AIKE SUR-3	2875.50- 2880.00
5	20	75	KIMIRI AIKE SUR-3	2893.50- 2898.00
6	25	69	KIMIRI AIKE SUR-3	2925.00- 2929.50
26	27	47	KIMIRI AIKE SUR-3	2938.50- 2943.00
29	26	45	KIMIRI AIKE SUR-3	2988.00- 2992.50
10	39	51	KIMIRI AIKE SUR-3	3001.50- 3006.00

46.2366	10.7527	43.0108	PALENQUE NORTE-12	3729
4.12371	19.5876	76.2887	PALENQUE NORTE-12	3741
13.4021	31.9588	54.6392	PALENQUE NORTE-12	3768
5.10204	36.7347	58.1633	PALENQUE NORTE-12	3792
9.18367	34.6939	56.1224	PALENQUE NORTE-12	3830
4.08163	39.7959	56.1224	PALENQUE NORTE-12	3850
3.15789	8.42105	88.4211	TENO-1	2210-2215
9.57447	8.51064	81.9149	TENO-1	2245-2250
25.8065	11.828	62.3656	TENO-1	2275-2280
2.0202	20.202	77.7778	GREGORIO-1	3623.5-3628
7.14286	25.5102	67.3469	GREGORIO-1	3650.5-3655
6.06061	36.3636	57.5758	GREGORIO-1	3668.5-3673
9.09091	29.2929	61.6162	GREGORIO-1	3713.5-3718
1.02041	19.3878	79.5918	CABAÑA NORTE-1	2805-2810
30.9278	11.3402	57.732	CABAÑA NORTE-1	2870-2875
14.2857	19.3878	66.3265	CABAÑA NORTE-1	2905-2910
3.06122	31.6327	65.3061	CABAÑA NORTE-1	2935-2940
42.86	17.35	39.80	LAUTARO-13	2375
0.00	21.65	78.35	CARANCHO-1	2916.5
5.81	43.02	51.16	CARANCHO-1	2925
20.62	26.80	52.58	CARANCHO-1	2965

Datos de porcentajes estimados para las formaciones Margas y Lutitas con Ftanita

9.43	49.69	40.88	Lautaro-13	2370
0.00	66.84	33.16	Albatros-6	1658.3
0.00	70.00	30.00	Flamenco-16	1845-1848.2
0.00	73.47	26.53	Nika Oeste-1	2700.7-2701.8
8.54	60.83	30.63	Dicky-1	2417.18-2420
96.25	0.75	3	MONTE AYMOND-2	2012.5-2013
95	5	0	DORADO SUR-12	2773.2-2785.3

Registro de pozos para Formación Margas.

<Well>	ESTE	NORTE	<TopM D>	<BaseM D>	porosidad	RP promedio	MY [PSI]
DORADO SUR - 12	434340. 00	4179795. 00	2705.00	2837.50	0.079	0.322	3.114
LAS VEGAS - 9	469253. 00	4165015. 00	2097.00	2219.00	0.1	0.285	3.692
LAUTARO - 13	461675. 00	4151360. 00	2231.40	2339.00	0.079	0.257	4.037
LAUTARO - 14	463868. 00	4147169. 00	2288.00	2417.00	0.079	0.268	4.199
LAUTARO SUR - 6	466554. 00	4145675. 00	2125.50	2237.10	0.085	0.289	3.913
LOS MORROS ESTE - 3	466522. 45	4161654. 22	2105.00	2230.00	0.102	0.346	2.868
MADRUGADA - 3	461035. 00	4166815. 00	2041.60	2159.60	0.09	0.292	3.584
PARAGUAYA - 2	518985. 00	4142965. 00	1426.00	1535.80	0.189	0.359	1.694
PARAGUAYA - 3	516945. 00	4146175. 00	1452.00	1553.00	0.181	0.353	1.784
PARAGUAYA - 4	515614. 03	4143738. 80	1510.00	1626.00	0.168	0.36	1.805
PUNTA BAJA - 14	463497. 00	4174167. 00	2026.00	2134.00	0.109	0.298	3.368
RETAMOS - 4	451747. 39	4148379. 12	2582.00	2693.00	0.053	0.278	4.296
VICTORIA ESTE - 26	475051. 00	4148052. 00	2002.00	2111.00	0.097	0.296	3.394
CACHAPOAL - 1	474116. 00	4174705. 00	2009.00	2112.30	0.112	0.3	3.082
MANANTIALES OESTE - 1	469525. 00	4178305. 00	1893.90	2004.50	0.124	0.298	2.966
TENO - 1	464575. 00	4160395. 00	2084.20	2200.50	0.093	0.284	3.815
TENO - 2	463215. 00	4159063. 00	2134.00	2251.00	0.095	0.282	4.022
TENO - 3	464588. 66	4159956. 36	2166.50	2280.40	0.104	0.277	3.615
FORTUNA - 1	510164. 00	4124143. 00	1561.00	1673.00	0.13	0.322	2.646
FORTUNA - 2	511785. 00	4126706. 00	1562.90	1669.00	0.134	0.322	2.712
ARENAL OESTE - 1	454806. 00	4154897. 00	2411.50	2537.00	0.076	0.275	4.092
ARAUCANO - 1	449395. 00	4148995. 00	2665.60	2800.00	0.045	0.261	5.102
PUNTA PIEDRA	445952.	4151046.	2701.50	2826.00	0.06	0.27	4.428

OESTE - 1	99	06					
CARMELITAS - 2	454542.00	4149089.00	2509.70	2645.80	0.063	0.28	4.107
ACH.Mag.CrA - 1X	517012.18	4086843.99	1968.00	2089.80	0.083	0.3	3.80
ACH.Mag.CrB - 1X	516623.99	4084620.61	2255.00	2383.00	0.076	0.285	4.058
CHERCAN - X-1	502781.00	4111038.00	1695.00	1788.00	0.108	0.277	3.715
OMELING - X-1	510028.00	4110433.00	1716.50	1815.00	0.115	0.298	3.149
CHILCO - X-1	501678.03	4115809.36	1714.30	1790.70	0.124	0.326	2.588
TAGUA - X-1	517387.00	4110135.00	1672.50	1788.00	0.137	0.291	3.395
PRIMAVERA SUR - X-1	482987.00	4141837.00	2075.00	2172.30	0.109	0.31	3.072
CISNE SUR - X-1	514423.48	4104048.93	1721.10	1822.30	0.12	0.261	3.635
CARPINTERO - X-1	513107.00	4104627.00	1730.50	1827.50	0.097	0.273	3.825
PROMEDIO					0.10	0.30	3.44
MAXIMO					0.19	0.36	5.10
MÍNIMO					0.05	0.26	1.69
DESVIACIÓN ESTANDAR					0.03	0.03	0.78

Registro de pozos para Formación Margas.

<Well>	ESTE	NORTE	<TopMD >	<BaseMD >	Porosidad	RP promedio	MY [PSI]
DORADO SUR - 12	434340.00	4179795.00	2835.50	2975.50	0.17	0.255	3.355
LAS VEGAS - 9	469253.00	4165015.00	2217.00	2333.00	0.188	0.315	3.151
LAUTARO - 13	461675.00	4151360.00	2337.00	2449.30	0.172	0.257	3.827
LAUTARO - 14	463868.00	4147169.00	2415.00	2523.50	0.156	0.272	4.148
LOS MORROS ESTE - 3	466550.09	4161677.92	2228.00	2343.00	0.187	0.352	2.677

MADRUGADA - 3	461035.0 0	4166815. 00	2157.60	2276.70	0.173	0.285	3.586
PARAGUAYA - 2	518985.0 0	4142965. 00	1533.80	1641.50	0.289	0.318	2.194
PARAGUAYA - 3	516945.0 0	4146175. 00	1551.00	1656.00	0.275	0.325	2.173
PARAGUAYA - 4	515613.1 0	4143738. 49	1624.00	1736.50	0.271	0.322	2.201
PUNTA BAJA - 14	463497.0 0	4174167. 00	2132.00	2247.00	0.185	0.292	3.578
VICTORIA ESTE - 26	475051.0 0	4148052. 00	2109.00	2215.00	0.195	0.287	3.279
CACHAPOAL - 1	474116.0 0	4174705. 00	2110.30	2211.00	0.228	0.301	2.86
MANANTIALES OESTE - 1	469525.0 0	4178305. 00	2002.50	2123.00	0.212	0.303	2.794
TENO - 1	464575.0 0	4160395. 00	2198.50	2312.30	0.179	0.283	3.6
TENO - 2	463215.0 0	4159063. 00	2249.00	2367.00	0.167	0.28	3.833
TENO - 3	464591.6 0	4159946. 11	2278.40	2392.00	0.151	0.274	3.742
FORTUNA - 1	510164.0 0	4124143. 00	1671.00	1767.00	0.224	0.29	3.037
FORTUNA - 2	511785.0 0	4126706. 00	1667.00	1762.40	0.237	0.311	2.736
ARENAL OESTE - 1	454806.0 0	4154897. 00	2535.00	2655.00	0.152	0.269	4.103
ARAUCANO - 1	449395.0 0	4148995. 00	2798.00	2938.20	0.126	0.251	5.415
PUNTA PIEDRA OESTE - 1	445948.1 0	4151050. 75	2824.00	2927.50	0.148	0.254	4.361
CARMELITAS - 2	454542.0 0	4149089. 00	2643.80	2758.00	0.143	0.27	4.299
ACH.Mag.CrA - 1X	517011.1 7	4086845. 00	2087.80	2195.00	0.175	0.28	4.122
ACH.Mag.CrB - 1X	516639.3 6	4084616. 25	2381.00	2495.00	0.176	0.277	4.284
CHERCAN - X-1	502781.0 0	4111038. 00	1786.00	1874.00	0.167	0.283	3.653
OMELING - X-1	510028.0 0	4110433. 00	1813.00	1907.00	0.178	0.283	3.242
CHILCO - X-1	501674.8 1	4115803. 38	1788.70	1866.70	0.188	0.306	3.017
TAGUA - X-1	517387.0 0	4110135. 00	1786.00	1895.00	0.208	0.294	3.175
PRIMAVERA SUR - X- 1	482987.0 0	4141837. 00	2170.30	2272.00	0.169	0.282	3.475
CISNE SUR - X-1	514425.2	4104043.	1820.30	1891.00	0.164	0.274	3.415

	6	54					
CARPINTERO - X-1	513107.0 0	4104627. 00	1825.50	1909.80	0.152	0.294	3.51
PROMEDIO					0.19	0.288	3.447
MÁXIMO					0.29	0.352	5.415
MÍNIMO					0.13	0.251	2.173
DESVIACIÓN ESTANDAR					0.04	0.023	0.712

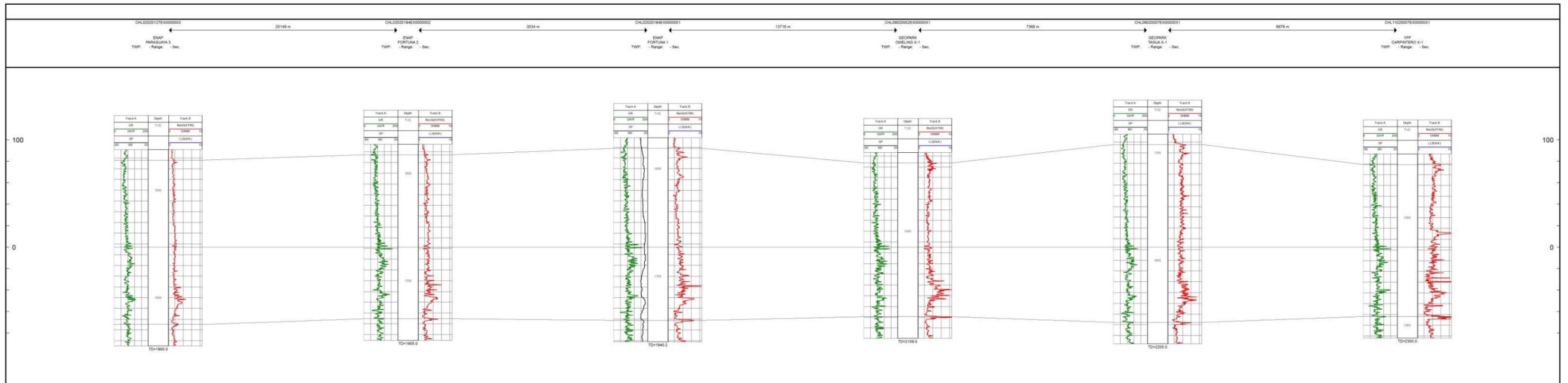
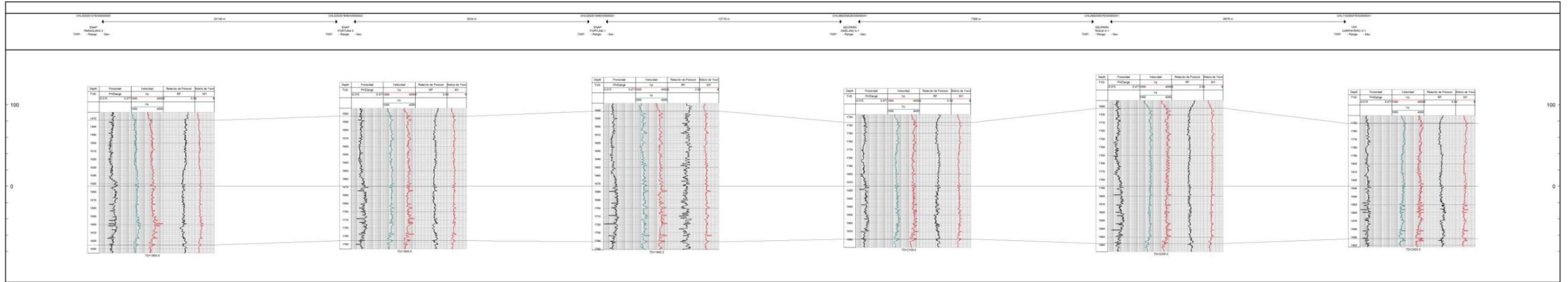
Leyenda columnas estratigráficas (colores en columnas sólo son representativos)

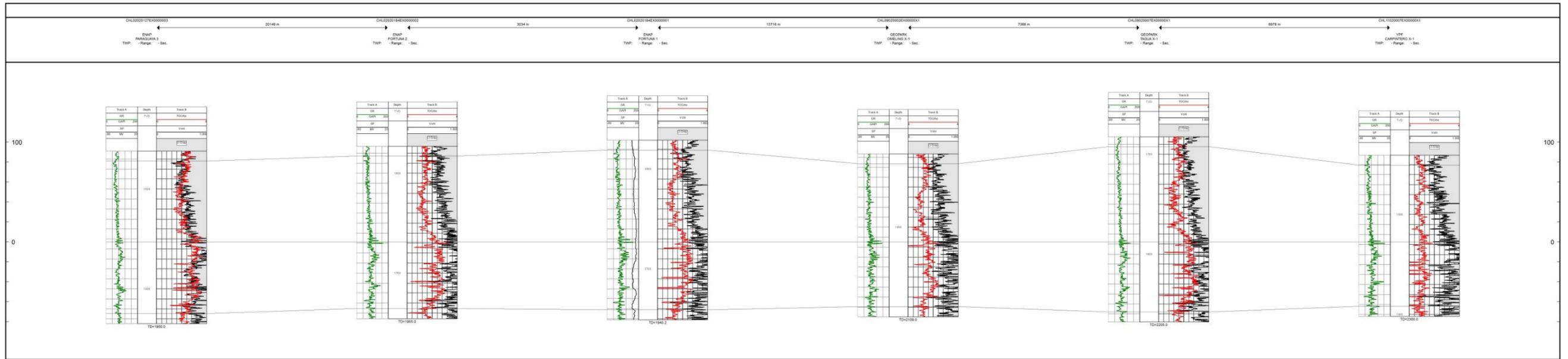
LEYENDA

	WACKA BIOGÉNICA		WACKESTONE CON LAMINACIONES CRISTALINAS	* *	Radiolario		Pirita
	ARGILITA		WACKESTONE CON FRAGMENTOS DE PELECÍPODOS		Belemnite		Fragmentos de bivalvos
	CALIZA				Coral aislado		Foraminifero
	FANGOLITA				Lamina delgada		Materia orgánica
	LIMOLITA				Chondrites		Thalassinoides
	MUDSTONES						

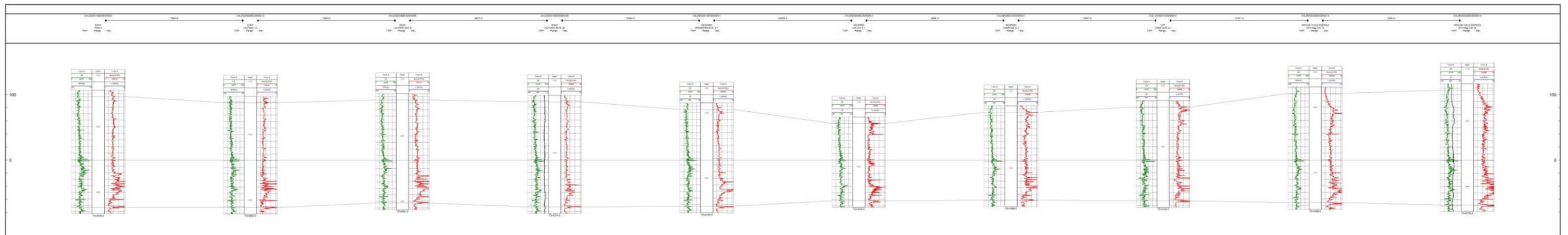
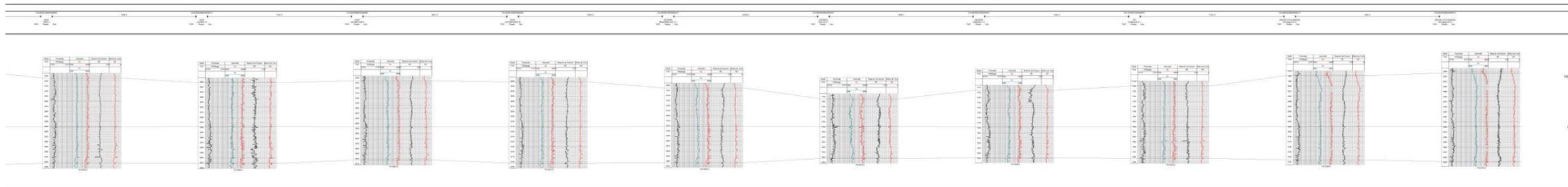
ANEXO 4

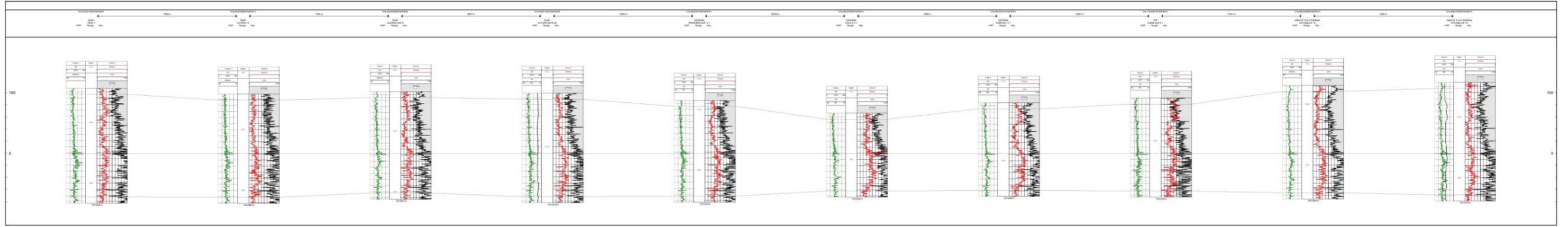
C-C': Transecta N-S ORIENTE



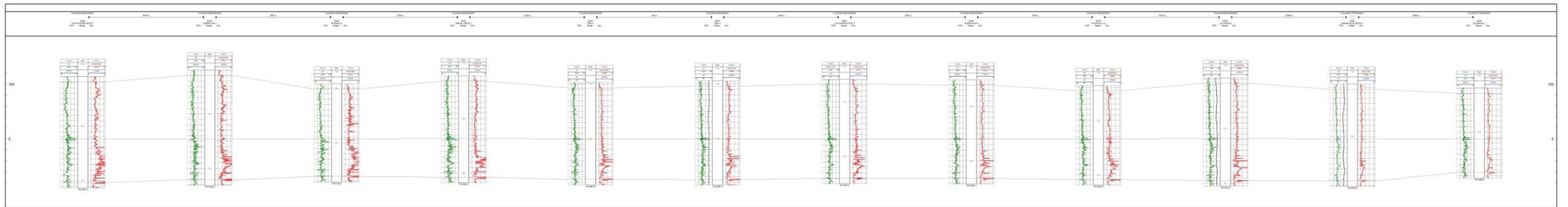
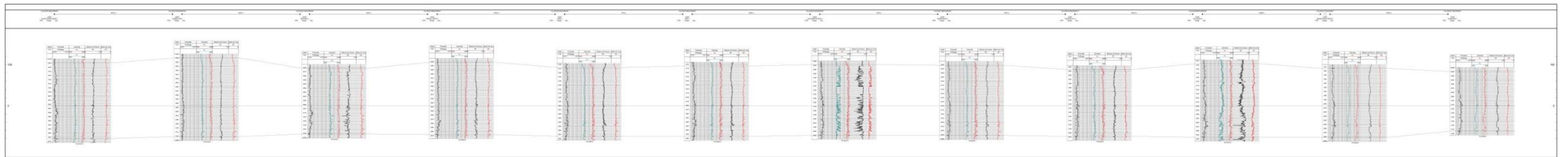


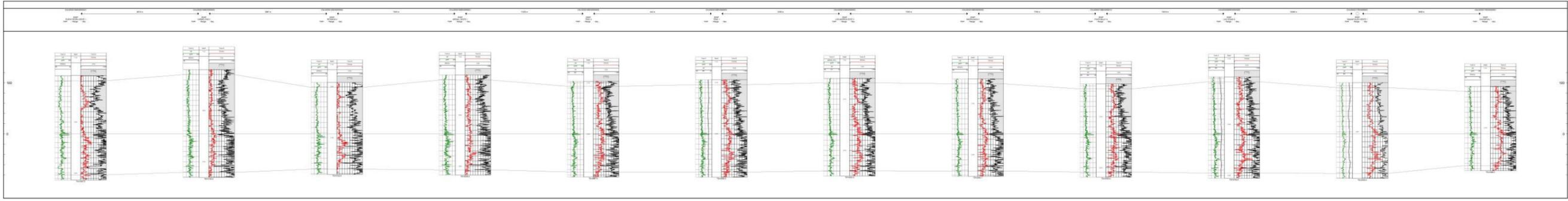
B-B' Transecta NW-SE





A-A' Transecta NE-SW



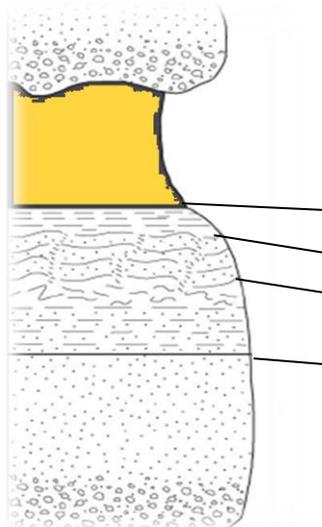


ANEXO 5

Turbidita

Turbidita es el término usado para definir depósitos originados por el colapso gravitacional de material clástico que fluye talud abajo en la superficie de un océano o lago (Shanmugam, 2006). Los sedimentos depositados consisten en la acumulación granodecreciente de capas de tamaño gravas a arcillolitas.

Bouma (1962) fue el primero en definir un modelo de facies que considera cinco divisiones en una turbidita. La secuencia de Bouma considera las siguientes facies en orden ascendente: Ta = constituida por arenas y en la parte basal gránulos con gradación normal o masiva, Tb = arenas limosas con laminación paralela hacia la base, Tc = arenas y limos con rizaduras y estratificación ondulada o convoluta, Td = limos en la cima con laminación paralela y Te = horizontes de granos muy finos o sedimentos pelágicos. Sin embargo dependiendo de la proximidad al canal de aporte, la secuencia de Bouma puede variar de manera vertical como lateral y muchas veces encontrarse truncada. Esto lleva a Walker (1976) a distinguir entre una secuencia turbidítica proximal de una distal



Tamaño	Divisiones de Bouma (1962)	Estructuras principales	Interpretación
fango	Te	interturbidita (generalmente lutita pelágica)	sedimentación pelágica o de grano fino, depósitos de corrientes de turbidez de baja densidad
arena- limo	Td	laminas superiores paralelas	final del régimen de flujo
	Tc	ondulitas, laminación convoluta u ondulada	porción inferior de bajo régimen de flujo
arena sabulítica hacia la base	Tb	láminas paralelas, planas	estratificación planar de alto régimen de flujo
	Ta	gradada, masiva	turbiditas de alto régimen de flujo rápidamente depositadas.

Distribución de estructuras en una secuencia de Bouma en un estrato turbidítico, y su interpretación en términos de régimen de flujo (modificada de la correspondiente a (Middleton & Hampton, 1976))

Comparación entre secuencias turbidíticas proximales y distales (Walker, 1976).

	PROXIMAL	DISTAL
A	estratos gruesos	estratos delgados
B	estratos de grano grueso	estratos de grano fino

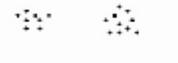
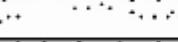
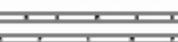
C	areniscas que frecuentemente se amalgaman para formar estratos gruesos	areniscas que raramente se amalgaman
D	estratos de espesor irregular	estratificación paralela, regular
E	son comunes, las erosiones, los derrumbes y los canales	escasos surcos de erosión, no hay canales
F	laminaciones de mudstones entre areniscas, pobremente desarrolladas o ausentes, relación arena/pelita alta	capas de mudstones bien desarrolladas entre areniscas, relación arena/pelita baja
G	estratos no gradados o desordenadamente gradados	estratos bien gradados
H	la base de la arena es siempre neta; el techo es frecuentemente neto; muchas secuencias AE	la base de la arena es siempre neta, el techo grada o sedimentos más finos, no son frecuentes las secuencias AE
I	no son frecuentes las laminaciones ni las ondulitas	son muy comunes las laminaciones y las ondulitas
J	las marcas de erosión son más frecuentes que las marcas de objetos	las marcas de objetos son más frecuentes que las marcas de erosión

Cómo se puede observar a lo largo de la historia se han definidos diversos modelos de facies para los sistemas turbidíticos por lo que su clasificación resulta altamente compleja, y se debe ajustar con la naturaleza propia de la cuenca en estudio. Considerando los antecedentes así como litología presente en las formaciones en estudio (Lutitas con Ftanitas y Margas) se describe la clasificación propuesta por Stow y Shanmugam (1980) para una secuencia turbidítica de grano fino.

Turbidita de grano fino

Stow & Shanmugam (1980) proponen una secuencia más detallada para las facies Tc, Td y Te de las facies de Bouma, la cual consiste en nueve horizontes T₀ a T₈ que detallan éstas turbiditas fangosas o flujos saturados.

Como se observa en la Secuencia para turbiditas finas (Stow & Shanmugam, 1980), la facies T₀ = consiste en arena muy fina con laminación lenticular hacia la base, T₁ = laminación convoluta, T₂= laminación ondulada o lenticular, T₃ = laminación fina regular, T₄ = no presenta alguna estructura definida, sin embargo predominan arenas muy finas, T₅ = son arenas muy finas con laminación ondulada y/o convoluta, T₆ = lentes gradados de limo/arcilla, T₇ = arcilla sin gradación y por último T₈= sin laminación de finos pero con microbioturbación y pseudonódulos de limo. De la misma manera que los modelos de la Secuencia Bouma, las divisiones de la Secuencia Stow, no necesariamente se desarrollan todas las facies en turbiditas de grano fino.

Secuencia Stow-Shanmugam (1980)		
T8		Hemi-Pelágicos Bioturbación
T7		Arcilla sin gradación pseudonódulos de limo
T6		Arcilla gradada y lentes de limo
T5		Lam. ondulada y convoluta
T4		Lam. indiferenciada
T3		Lam. paralela delgada
T2		Lam. delgada irregular Baja amplitud y ripples hacia la cima
T1		Lam. convoluta
T0		Lam. Basal lenticular

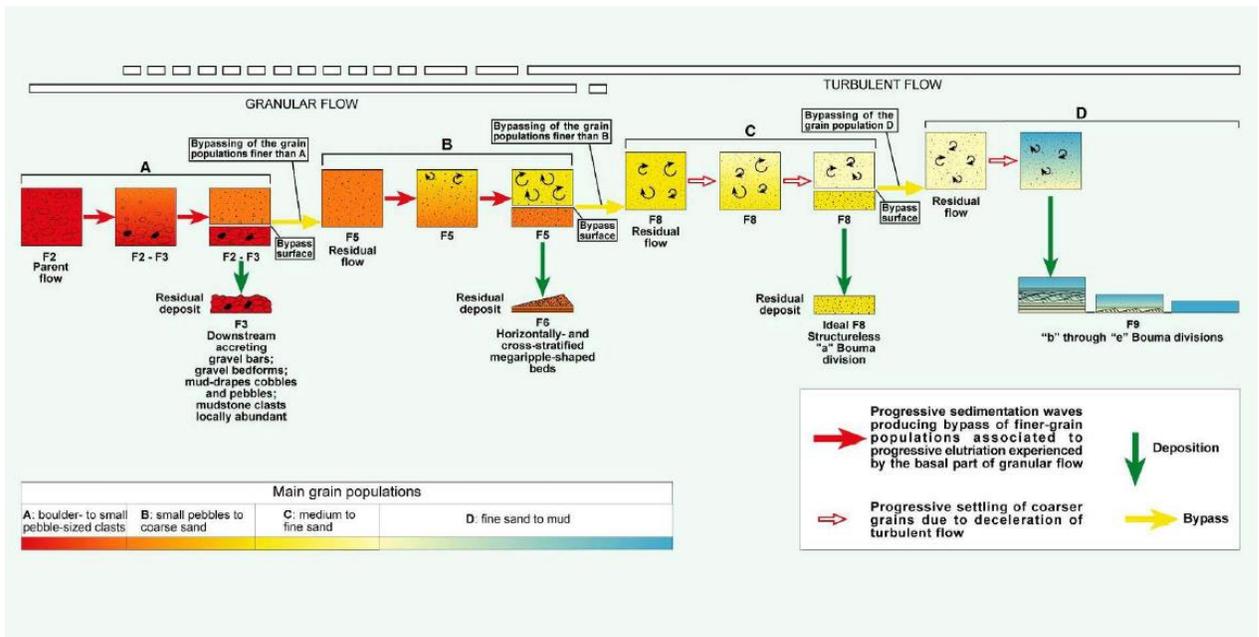
Secuencia para turbiditas finas (Stow & Shanmugam, 1980)

Por último, otro modelo de facies para turbiditas de grano grueso o sección proximal fue propuesto por Mutti (1992), Mutti, et al., (1999), (2003), el cual considera que las corrientes de turbiditas son bipartitas, es decir compuestas por un flujo granular denso sobrepresionado en la base y se transforma en un flujo turbulento de baja densidad durante el movimiento pendiente abajo. A su vez identifica cuatro grupos de facies principales: (A) canto rodado a clastos de pequeño tamaño, (B) grava fina a arena gruesa, (C) arena media a arena fina y (D) arena fina a pelita. Las cuatro poblaciones de granos tienden a ser transportado y depositado por corrientes turbidíticas como entidades de naturaleza distintiva, formando asociaciones de facies características. Las primeras dos poblaciones se mueven dentro de un flujo denso; la tercera población se mueve inicialmente dentro de un flujo denso, pero puede ser incorporado como carga suspendida en el flujo suprayacente; la cuarta población es la típica carga suspendida de un flujo altamente turbulento.

A continuación se muestra un cuadro resumen de las facies reconocidas por Mutti, y la interpretación dada según su litología y estructuras.

Facies Mutti, et al., (1999).

Grupo de facies	Facies asociadas	Litología	Estructuras	Interpretación
A	F1	Flujo detrítico de variada granulometría que sufre congelamiento cohesivo	flujo masivo	
	F2	cantos, gravas y arena gruesa suspendida en una matriz fangolítica arenosa	intraclastos de lodo, contiene clastos milimétricos a bloques de metros	flujo altamente erosivo que se mueve dentro de corrientes submarinas
	F3	Conglomerado clasto-soportado	unidades amalgamadas o unidades aisladas lenticulares convexas hacia arriba con fangolitas brechosas en la base	registro del congelamiento friccional de los bordes principales del flujo
B	F4	Facies gruesa inmadura.		
	F5	conglomerados finos a areniscas gruesas masivas pobremente seleccionadas o gradadas formando potentes y lateralmente extensas unidades	puede contener intraclastos pelíticos o estructuras de escape de agua	
	F6	Areniscas gruesas a medianas	se pueden formar lentes discontinuos con base erosiva e intraclastos pelíticos	Producto de capas planas y migración de megaondulas después de que el flujo sufre elutriación de las partículas finas y es retrabajado por el flujo turbulento.
C	F7	areniscas granodecreciente de gruesas a medias	laminación horizontal gruesa	Son formadas por carpetas de tracción de grano grueso alternando con sedimentos más finos producto de la caída en suspensión
	F8	areniscas medianas y finas masivas o sutilmente gradadas		Ta de la secuencia de Bouma producto de altas tasas de sedimentación que previene la generación de formas de lecho y causa licuefacción por la elevada presión de poro.
D	F9	areniscas finas y lutitas		etapas tractivas y de caída de la suspensión de la secuencia de Bouma (Tb,Tc,Td,Te)



Facies y procesos asociados con una turbidita bipartita. Modificado por Mutti, (2003) y (1999)