



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

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA ESTRATIGRAFÍA CENOZOICA DE  
LA SIERRA BAGUALES: LA FORMACIÓN MAN AIKE ("LAS FLORES"),  
PROVINCIA DE ÚLTIMA ESPERANZA, MAGALLANES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

RAÚL AGUSTÍN UGALDE PERALTA

PROFESOR GUÍA:  
FRANCISCO HERVÉ ALLAMAND

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
JACOBUS P. LE ROUX  
JUAN ENRIQUE BOSTELMANN TORREALBA

Este trabajo ha sido financiado por  
PROYECTO ANILLO ANTÁRTICO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ACT-105

SANTIAGO DE CHILE  
MAYO 2014

# Resumen

Las unidades litoestratigráficas cenozoicas del sector nororiental de los Andes Patagónicos Australes de la región de Magallanes han sido pobremente estudiadas del lado chileno de la frontera. En esta zona, el borde occidental de la cuenca de antepaís presenta una estructura monoclinial manteniendo hacia el este, en el dominio externo de la faja plegada y corrida de los Andes Australes (Ghiglione *et al.*, 2009; Fosdick *et al.*, 2011; Likerman *et al.*, 2013).

En Sierra Baguales (50°51'24.12"S, 72°19'53.89"O), Cecioni (1957b) definió la Formación Las Flores como 160 m de depósitos de areniscas intercaladas con limolitas grises continentales. Correlacionada con la Formación El Salto (González y Tapia, 1952a) a través de improntas foliares de *Nothofagus* sp., se le asignó una edad oligocena superior – miocena inferior. Tras los trabajos de ENAP en la década del 50' y 60', sólo estudios como Le Roux *et al.* (2010) y Bostelmann *et al.* (2013) han analizado con cierto detalle las unidades cenozoicas en este territorio. El presente trabajo revisa el estratotipo de la Formación Las Flores, para determinar su validez y sus relaciones con otras unidades litoestratigráficas del sector.

La zona de estudio comprende el chorrillo Las Flores, paralelo al río Baguales, 120 km al norte de la ciudad de Puerto Natales. Se realizó una campaña de trabajo durante el mes de marzo de 2013, recorriendo localidades del río Baguales, río Bandurrias y de las estancias 3R, Baguales, La Cumbre, Los Leones y Cerro Guido. En ésta se realizó una columna estratigráfica en detalle del estratotipo de la Formación Las Flores, afloramiento escarpado y prominente en la ladera este del cañadón nort-sur tras el cerro Torta. Se midió la potencia con cinta métrica y se corrigió con brújula Brunton. Se realizaron descripciones litológicas, colecta de muestras geológicas y de restos fósiles.

La columna, de 56.8 m, constó de seis sub-unidades: limolitas y areniscas macizas azules a amarillas (sub-unidad A); areniscas medias con estratificación cruzada planar de bajo ángulo y bioturbaciones (B); areniscas muy finas a medias intercaladas con limolitas, estratificación cruzada planar de alto ángulo y trazas de *Spongiomorpha* isp., *Thalassinoides suevicus* y *Ophiomorpha nodosa* (C); areniscas azules con estratificación cruzada planar de alto ángulo y concreciones rojas (D); intercalaciones de areniscas amarillas y limolitas grisáceas con improntas foliares mal preservadas de *Nothofagus* sp. (E); areniscas medias amarillas, estratificación cruzada planar de ángulo medio, moldes de *Modiomytilus mercerati*, dientes de tiburón y trazas de *T. suevicus*, *O. nodosa* y *Skolithos* sp. (F). El techo está cubierto por depósitos glaciales cuaternarios y un filón basáltico de ca. 100 m de espesor. Se determinó un sistema deposicional de borde costero. La asociación de icnogéneros indicó la icnofacies de *Skolithos*. Se sugirió la interpretación de tres facies sedimentarias: planicie mareal (A, E), barra mareal (B, D, F) y un posible canal mareal (C). Se asignó un sistema estuarino dominado por mareas. No se descartaron deltas dominado por mareas ni por olas.

Debido a la errónea definición y diferencias en extensión, potencia, ambiente deposicional y relaciones estratigráficas, se propone descartar la Formación Las Flores y nombrar momentáneamente las unidades con la Formación Man Aike (Piatnitzky, 1938; Feruglio, 1938; Furque, 1973; Marensi *et al.*, 2002), del final del Eoceno medio.



# Abstract

The cenozoic lithostratigraphic units from the northeastern area of the Magallanes Patagonian Andes have been poorly studied at the Chilean border. In this region, the western edge of the foreland basin shows a monoclinical structure dipping to the east, at the external domain of the Austral Andes fold-and-thrust belt (Ghiglione *et al.*, 2009; Fosdick *et al.*, 2011; Likerman *et al.*, 2013).

At Sierra Baguales (50°51'24.12"S, 72°19'53.89"O), Cecioni (1957b) defined the Las Flores Formation as the 160 m thick deposit of continental sandstones interbedded with grayish plant-bearing siltstones. From the correlation with El Salto Formation (González y Tapia, 1952a) according to *Nothofagus* sp. leaf imprints, a late oligocene – lower miocene age was assigned. After the ENAP works at the 50' and 60', only studies like Le Roux *et al.* (2010) and Bostelmann *et al.* (2013) have analyzed with some detail the cenozoic units at this territory. The present work determines the validity and relationships between other lithostratigraphic units of the region.

The study area contains the chorrillo Las Flores, a stream parallel to the Baguales river, ca. 120 km north of Puerto Natales town. A field campaign was made at March 2013, at localities near the Baguales river, Bandurrias river and 3R, Baguales, La Cumbre, Los Leones and Cerro Guido cattle stations. In the last one, a detailed stratigraphic section was made at the Las Flores Formation stratotype, a prominent and steep outcrop on the east slope of the north-south course behind the Torta hill. Metric tape was used to measure the thickness and a Brunton compass to make corrections. Lithological descriptions were made at the field. Geological samples were taken and fossils remains were collected.

The 56.8 m section was divided in six sub-units. A sub-unit contained blue-to-yellow massive siltstones and sandstones; B sub-unit showed middle sandstones, low angle planar cross bedding and bioturbation; C sub-unit contained very fine to middle sandstones interbedded with siltstones, high angle planar cross bedding, and fossil traces of *Spongeliomorpha* isp., *Thalssinoides suevicus* and *Ophiomorpha nodosa*; D sub-unit was composed by blue sandstones with high angle planar cross bedding and red calcareous concretions; E sub-unit contained yellow sandstones interbedded with grayish poorly preserved *Nothofagus* sp.-bearing siltstones; F sub-unit showed light yellow middle sandstones, middle angle planar cross bedding, *Modiomytilus mercerati* molds, shark teeth, *T. suevicus*, *O. nodosa* and *Skolithos* traces.

A shoreface depositional system was determined. The facies association indicated a *Skolithos* facies. Three sedimentary facies were suggested: tidal flat (A, E), tidal bar (B, D, F) and a possible tidal channel (C). The possibility of a tidal-dominated estuarine system was described. A tidal-dominated delta or a wave-dominated one couldn't be discarded.

Because of erratic definition and the extension, thickness, depositional environment and stratigraphic relationships differences, it is proposed to discard the Las Flores Formation and, at the moment, designate the units to the Man Aike Formation (Piatnitzky, 1938; Feruglio, 1938; Furque, 1973; Marensi *et al.*, 2002) from the end of the middle Eocene.

*Al gato, a la marmota y a los tatas.*

*“Habitamos un planeta de agua llamado tierra.”*

*Anónimo*

*“La mayor parte de los hombres no quieren nadar antes de saber. ¿No es esto espiritual?  
¡No quieren nadar, naturalmente! Han nacido para la tierra, no para el agua. Y,  
naturalmente, no quieren pensar; como que han sido creados para la vida, ¡no para pensar!  
Claro, y el que piensa, el que hace del pensar lo principal, ese podrá acaso llegar muy lejos  
en esto; pero ese precisamente ha confundido la tierra con el agua, y un día se ahogará.”*

*Hermann Hesse, Der Steppenwolf (El Lobo Estepario)*

# Agradecimientos

Al proyecto Anillo Antártico de Ciencia y Tecnología AC-105 por financiar la investigación. A la estancia Cerro Guido por facilitar el acceso y la casita de barro; a Pablo Quercia por las mismas gestiones y cooperación. A ENAP-Sipetrol y en especial a Jorge Arriagada y Lisandro Rojas, por permitirme acceder a bibliografía inédita de las exploraciones petrolíferas. Al Museo Nacional de Historia Natural, por permitir acceso a las colecciones de Magallanes y facilitar un buen espacio de trabajo. A Christian Salazar, por su amistad, ayuda y consejos durante el trabajo en el museo. A Néstor Gutiérrez por su colaboración en las discusiones. A Carina Millán por su excepcional compañía y buena onda durante la campaña de terreno. A José Luis Oyarzún por su excelente disposición, ayuda, energía, alegría y entusiasmo. A Teresa Torres por permitir que conociese el lugar, por su cariño y afecto, por su paciencia y disposición. A *Lord Burgess* por su enorme paciencia, vocación y amistad. A don Carlos Alvarado, a Blanca, a don Carlos Gómez, a don José, a Juanito, a María Rosa, al Quilo, a Rosita, a la Vero, a William, y a todos los otros miembros del Departamento de Geología que durante años han estado presentes en las vivencias universitarias.

A mis abuelos por la grata convivencia durante casi 7 años. A mi papá y su familia por la acogida en los primeros años. Al Chino, la Trini y al guatón Nano. A mis amigas y amigos, tanto de la universidad como de otros lugares. A mi familia.

A todos, gracias totales.

# Tabla de contenido

|  |            |
|--|------------|
| <b>Resumen</b>   | <b>ii</b>  |
| <b>Abstract</b>  | <b>iii</b> |
| <b>Agradecimientos</b>   | <b>v</b>   |
| <b>1. Formulación del estudio propuesto</b>                                    | <b>1</b>   |
| 1.1. Introducción . . . . .  | 1          |
| 1.2. Ubicación y zona de estudio . . . . .                                     | 2          |
| 1.3. Objetivos . . . . .   | 2          |
| 1.4. Metodología . . . . .   | 3          |
| 1.5. Hipótesis de trabajo . . . . .  | 4          |
| <b>2. Marco geológico regional</b>   | <b>5</b>   |
| 2.1. Antecedentes generales . . . . .  | 5          |
| 2.2. La Cuenca de Magallanes-Austral . . . . .                                 | 8          |
| 2.2.1. Estratigrafía de la Cuenca de Magallanes . . . . .                      | 10         |
| 2.2.2. Marco tectono-estructural de la Cuenca de Magallanes . . . . .          | 14         |
| <b>3. Marco geológico local</b>  | <b>22</b>  |
| 3.1. El Cenozoico en el norte de la Cuenca de Magallanes . . . . .             | 22         |
| 3.2. Geología de la Sierra Baguales . . . . .                                  | 23         |
| 3.2.1. Primeros estudios en la zona . . . . .                                  | 23         |
| 3.2.2. Unidades litoestratigráficas cenozoicas de la Sierra Baguales . . . . . | 24         |
| 3.2.3. Unidades cenozoicas no estratificadas de la Sierra Baguales . . . . .   | 24         |
| 3.3. Definición de la Formación Las Flores . . . . .                           | 27         |
| <b>4. Resultados</b>   | <b>30</b>  |
| 4.1. Columna estratigráfica . . . . .  | 35         |
| 4.1.1. Sub-unidades litoestratigráficas . . . . .                              | 35         |
| 4.1.2. Contenido fosilífero . . . . .  | 39         |
| 4.1.3. Petrografía . . . . .   | 50         |
| 4.1.4. Paleopalinología . . . . .  | 54         |
| 4.1.5. Circones detríticos . . . . .   | 54         |
| <b>5. Análisis e interpretación</b>  | <b>56</b>  |
| 5.1. Interpretación de facies sedimentarias y asociaciones . . . . .           | 56         |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.2. Ambiente deposicional . . . . .  | 59        |
| <b>6. Discusión</b>   | <b>66</b> |
| 6.1. Contrastes con interpretación original . . . . .                       | 66        |
| 6.1.1. Edad de las unidades del chorrillo Las Flores . . . . .              | 67        |
| 6.1.2. Estatus sugerido para la Formación Las Flores . . . . .              | 67        |
| 6.2. Interpretación actual respecto a otros estudios en la región . . . . . | 68        |
| 6.3. Unidades estudiadas y estratigrafía secuencial . . . . .               | 72        |
| <b>Conclusiones</b>   | <b>73</b> |
| <b>Bibliografía</b>   | <b>75</b> |

# Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| 4.1. Petrografía sedimentaria de la muestra BAG21-1 . . . . .                    | 51 |
| 4.2. Petrografía sedimentaria de la muestra BAG24-3 . . . . .                    | 52 |
| 4.3. Petrografía sedimentaria de la muestra BAG25-3 . . . . .                    | 53 |
| 5.1. Resumen de propiedades asociadas a sistemas de canales y planicies mareales | 57 |
| 5.2. Resumen de propiedades asociadas a sistemas de playas barrera y lagoons . . | 57 |

# Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| 1.1. Ubicación de la zona de estudio (modificado de Fildani <i>et al.</i> , 2007). . . . .   | 3  |
| 2.1. Modelo de Elevación Digital del cono sur de Sudamérica (modificado de Charrier <i>et al.</i> , 2007) . . . . .  | 7  |
| 2.2. Cuenca de Magallanes y unidades morfoestructurales principales (modificado de Fildani y Hessler, 2005) . . . . .  | 9  |
| 2.3. Columna estratigráfica de la Cuenca de Magallanes en Última Esperanza (modificado de Fosdick <i>et al.</i> , 2011) . . . . .  | 18 |
| 2.4. Evolución geotectónica de las cuencas de Magallanes y Malvinas (modificado de Galeazzi, 1998). . . . .  | 19 |
| 2.5. Mapa geológico y estructural de la Cuenca de Magallanes entre las latitudes 49°S y 52°S (modificado de Ghiglione <i>et al.</i> , 2009). . . . .                     | 20 |
| 2.6. Modelo cinemático de la deformación compresiva de la Cuenca de Magallanes en la provincia de Última Esperanza (modificado de Fosdick <i>et al.</i> , 2011). . . . . | 21 |
| 3.1. Evolución de los mapas geológicos regionales chilenos . . . . .   | 25 |
| 3.2. Cuadro cronoestratigráfico de la Sierra Baguales . . . . .  | 26 |
| 3.3. Mapa geológico de la Sierra Baguales (modificado de Gutiérrez <i>et al.</i> , 2013). . . . .  | 28 |
| 4.1. Ubicación del estratotipo de la Formación Las Flores . . . . .  | 31 |
| 4.2. Vista al norte del estratotipo de la Formación Las Flores . . . . .   | 32 |
| 4.3. Vista al “Anfiteatro de las Araucarias” . . . . .   | 33 |
| 4.4. Biostroma de <i>Ostrea? hatcheri</i> . Formación Estancia 25 de Mayo . . . . .  | 34 |
| 4.5. Trazados de la columna estratigráfica de la Formación Las Flores . . . . .  | 36 |
| 4.6. Columna estratigráfica del estratotipo de la Formación Las Flores . . . . .   | 37 |
| 4.7. Simbología de la columna estratigráfica . . . . .   | 38 |
| 4.8. Características principales de la sub-unidad A . . . . .  | 40 |
| 4.9. Características principales de la sub-unidad B . . . . .  | 41 |
| 4.10. Características principales de la sub-unidad C . . . . .   | 42 |
| 4.11. Principales bioturbaciones en areniscas de la sub-unidad C . . . . .   | 43 |
| 4.12. Características principales de la sub-unidad D . . . . .   | 44 |
| 4.13. Características principales de la sub-unidad E . . . . .   | 45 |
| 4.14. Características principales de la sub-unidad F . . . . .   | 46 |
| 4.15. <i>Ophiomorpha nodosa</i> en areniscas en la sub-unidad F . . . . .  | 47 |
| 4.16. <i>Thalassinoides suevicus</i> en areniscas en la sub-unidad F . . . . .   | 48 |
| 4.17. Contacto entre el filón basáltico y el techo de la serie sedimentaria expuesta . . . . .   | 49 |
| 4.18. Fragmento polínico de la muestra BAG21-1 . . . . .   | 54 |

|   |    |
|---|----|
| 5.1. Energía y esquema en planta de un estuario dominado por mareas . . . . .   | 60 |
| 5.2. Representación tipo de ambiente estuarino con dominio energético de mareas (modificado de Nichols, 2009 . . . . .                        | 62 |
| 5.3. Representación tipo de ambiente deltaico con dominio energético de mareas (modificado de Nichols, 2009 . . . . .                         | 64 |
| 5.4. Representación tipo de ambiente deltaico con dominio energético de olas (modificado de Nichols, 2009 . . . . .                           | 65 |
| 6.1. Secciones del miembro superior de la Formación Río Turbio a un costado de la ruta 40 (extraído de Pearson <i>et al.</i> ,2012) . . . . . | 70 |
| 6.2. Compilación de mapeo regional para la Formación Man Aike . . . . .   | 71 |



# Capítulo 1

## Formulación del estudio propuesto

### 1.1. Introducción

A pesar de su importancia en la reconstrucción de la historia tectónica regional, muchas unidades litoestratigráficas cenozoicas de los Andes Patagónicos en Magallanes han recibido escasa atención y pobres, inadecuadas o equívocas descripciones litológicas. Buena parte de estas unidades están expuestas a lo largo del borde oeste de la cuenca de antepaís, identificada como una estructura monoclinal vergente al este en el dominio externo de la Faja Plegada y Corrida de los Andes Australes (Ghiglione *et al.*, 2009; Fosdick *et. al.*; 2011).

Una de estas "unidades" es la Formación Las Flores, inicialmente definida por Cecioni (1957b) como la "sucesión sedimentaria superior en el área de Sierra Baguales, conformada por 160 m de areniscas continentales y limolitas grises" (Cecioni, 1957b). A partir de esta descripción, la Formación Las Flores fue correlacionada tentativamente con la Formación El Salto (González y Tapia, 1952a) en la zona de seno Skyring, basada en la ocurrencia común de improntas foliares de *Nothofagus* sp.. Debido a que la Formación El Salto subyace en forma concordante a la Formación Loreto, la cual contenía mamíferos fósiles que sugerían una miocena temprana, se propuso una edad oligocena tardía-miocena temprana. Bajo ese supuesto, Cecioni (1957b) asignó el mismo rango geocronológico para la Formación Las Flores.

Tras los trabajos de Cecioni, los escasos estudios posteriores en estratigrafía cenozoica de la provincia de Última Esperanza fueron realizados principalmente por la división de exploración de ENAP (*e.g.*, González y Tapia 1952a, 1952b; Cortes, 1964; Hoffstetter *et al.*, 1957), y, décadas después, el desarrollo del mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000 (Sernageomin, 2003), reutilizando la información de los primeros estudios y sin revisar las unidades descritas inicialmente.

En los últimos años se han realizado importantes avances geológicos por el equipo de investigación del Proyecto Anillo Antártico de Ciencia y Tecnología (1 y 2), incluyendo la reciente revisión, reconocimiento y descripción detallada de las sucesiones estratigráficas cenozoicas expuestas en la Sierra Baguales, así como también parte de su contenido paleontológico (*e.g.*, Bostelmann *et al.*, 2013; Le Roux *et al.*, 2010; Otero *et al.*, 2012, 2013; Gutierrez *et al.*, 2013).

Estos estudios, además, contemplan la correlación con unidades equivalentes en el lado argentino de la frontera, revelando información considerable sobre la historia deposicional del trasarco, junto con gran información respecto a la edad y extensión regional de los horizontes estratigráficos.

La inconsistencia de los datos actuales de la Formación Las Flores dada por la pobre información de su descripción original, su simple correlación bioestratigráfica, sus imprecisiones ambientales, en conjunto con un desconocimiento generalizado del lugar en donde se ubica su unidad tipo, generan importancia suficiente para la realización del presente estudio.

## 1.2. Ubicación y zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en el extremo nororiental de la provincia de Última Esperanza, XII Región de Magallanes y la Antártica Chilena (Figura 1.1). Específicamente en el kilómetro 350 de la Ruta 9, a 56 km al norte de Villa Cerro Castillo y a 26 km del desvío hacia el Parque Nacional Torres del Paine ( $50^{\circ}51'24.12''$  S,  $72^{\circ}19'53.89''$  O). El lugar está dentro de los límites de la Estancia Cerro Guido y próximo al Puesto Las Flores, de la misma propiedad. El afloramiento de estudio está a menos de 4 km de la frontera entre Chile y Argentina.

El área se caracteriza por un clima de estepa fría, cuyas precipitaciones generan montos anuales cercanos a los 500 mm. Estas se distribuyen en forma homogénea durante el año, con máximos que ocurren en verano y otoño. Lo que llueve en los 4 meses más lluviosos es equivalente al 40% del total anual y las precipitaciones invernales son de carácter nival. Las menores cantidades de precipitación, que definen entre 6 y 12 meses secos, con totales de agua caída inferior a 40 mm y las bajas temperaturas, es lo que le dan el carácter de estepa, asociándose al tipo de suelo que sólo permite un tipo de vegetación propio de este clima (DGAC - Dirección Meteorológica de Chile, 2014).

El relieve está conformado por praderas suaves en valles postglaciales labrados por ríos y arroyos con cursos Norte-Sur (*e.g.* río Baguales), además de la presencia dominante de cumbrones basálticos de hasta 1.800 m de altura, fuertemente erodados por acción glacial durante el Cuaternario (*e.g.* cerro Pináculo).

## 1.3. Objetivos

### OBJETIVOS GENERALES

Revisar el estatus de la Formación Las Flores bajo los criterios estratigráficos internacionales (Salvador, 1994), a fin de determinar su validez y potenciales relaciones con otras unidades litoestratigráficas de la región.

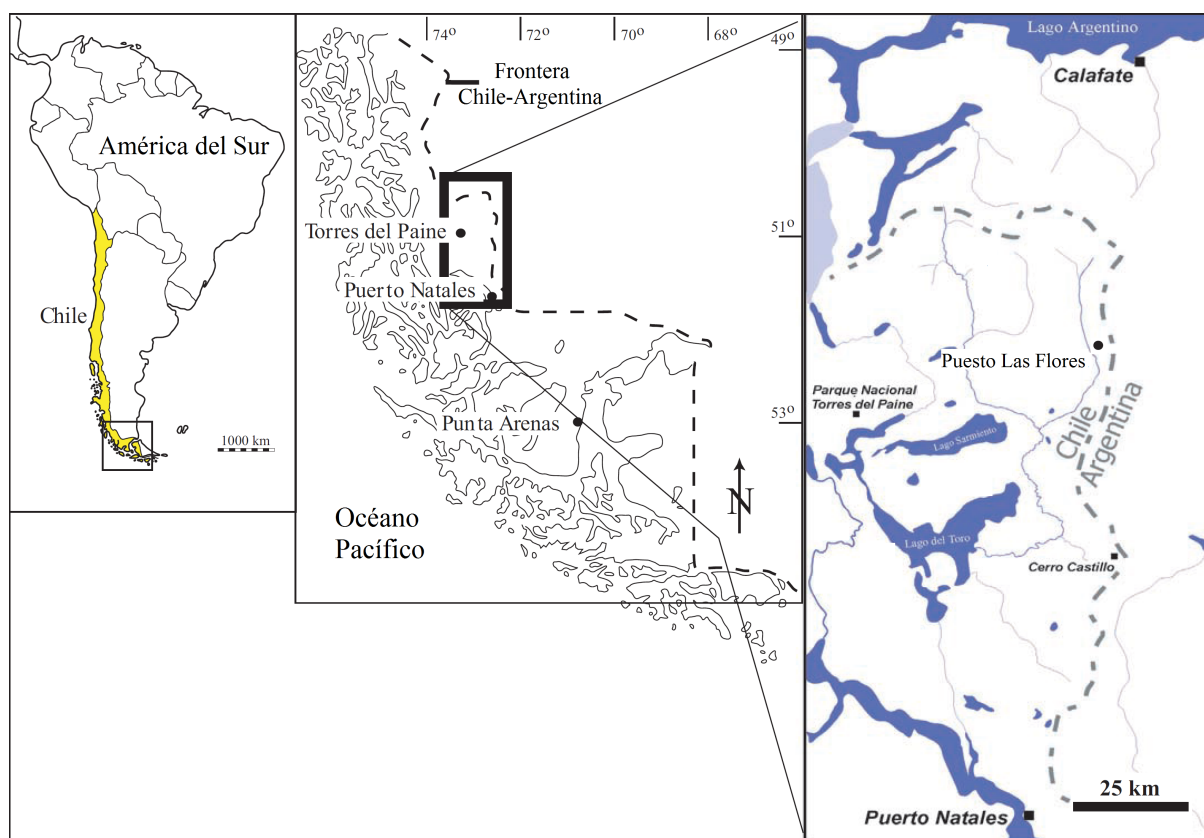


Figura 1.1: Ubicación de la zona de estudio (modificado de Fildani *et al.*, 2007).

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar la caracterización geológica de las litofacies presentes en el estratotipo de la Formación Las Flores.

Describir e identificar los macro y microfósiles presentes en de la columna estratigráfica del estratotipo.

Determinar los tipos de ambientes deposicionales que componen el estratotipo de la formación.

Proponer un modelo sedimentológico y de estratigrafía secuencial sobre la base de información bibliográfica y de los ambientes deposicionales.

Correlacionar el estratotipo de la formación con unidades similares descritas en la región.

## 1.4. Metodología

Para llevar a cabo los objetivos propuestos, se aplicó la siguiente metodología:

Se contempló una campaña de trabajo en terreno durante febrero de 2013.

Se elaboró una columna estratigráfica en detalle del estratotipo de la Formación Las Flores a una escala 1:150. Se midió la disposición de los estratos con brújula Brunton. Se realizaron descripciones sistemáticas a lo largo de la columna, considerando aspectos litológicos, fosilíferos, granulométricos, cromáticos y sedimentológico-estructurales. Con la cinta métrica y la brújula Brunton se realizaron estimaciones de las potencias mediante relaciones trigonométricas. Se colectaron fósiles e icnofósiles de niveles identificados en la columna. Se colectaron muestras geológicas en niveles específicos de la columna para revisión de microfósiles, cortes transparentes y dataciones radiométricas.

Durante el año 2013 se efectuó el trabajo de laboratorio y gabinete. Las metodologías se describen a continuación.

- Se realizó el análisis en microscopio óptico de los cortes transparentes de las muestras seleccionadas.
- Se efectuó la preparación de polen fósil en laboratorio de Paleopalinología del departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción.
- Se realizó el envío de muestras al Laboratorio de Separación de Minerales de la Universidad de Chile, para la obtención de circones detríticos orientada a la datación radiométrica U-Pb.
- Se interpretaron los ambientes sedimentarios mediante comparación de la columna estratigráfica con bibliografía especializada.
- Se estudió la bibliografía de los trabajos caracterizadores de otras formaciones similares en la región.

Para el presente estudio se consideró la Carta Cronoestratigráfica Internacional del año 2013 como referencia y convención de los rangos y edades de los pisos geológicos.

## 1.5. Hipótesis de trabajo

El trabajo de investigación mantuvo las siguientes hipótesis como eje de trabajo:

1. La sucesión de areniscas, limolitas y el contenido de improntas foliares de *Nothofagus* sp., permitirían sustentar que los ambientes deposicionales de la Formación Las Flores se corresponderían con zonas continentales.
2. En acuerdo con los criterios estratigráficos internacionales, la Formación Las Flores fue válidamente establecida por Cecioni (1957b).

Bajo la primera hipótesis se esperaba que, al realizar el trabajo, se tuviesen evidencias suficientes y sustanciales para la caracterización de los tipos de ambiente que presentarían cada una de las unidades que comprende la formación. Mediante la segunda hipótesis se esperaba, por tanto, que el trabajo permitiese una verificación del estatus de la Formación Las Flores.

# Capítulo 2

## Marco geológico regional

### 2.1. Antecedentes generales

#### Morfoestructuras de la región

La Región de Magallanes puede ser dividida en cuatro regiones fisiográficas de oeste a este: el Archipiélago Patagónico, que incluye a las islas del Pacífico; los Andes Patagónicos o Cordillera Principal; el Cordón de Piedemonte Andino, que constituye el alto topográfico más destacado al este y norte de la Cordillera Principal, además de formar numerosas sierras menores paralelas; y las pampas o Estepa Magallánica, que se extiende desde el piedemonte oriental hasta el Océano Atlántico (Natland *et al.*, 1974).

Al sur del Golfo de Penas ( $47^{\circ}\text{S}$ ) se pueden distinguir al menos tres unidades morfoestructurales a lo largo de la Patagonia Austral (Natland *et al.*, 1974):

1. El Archipiélago
2. La Cordillera Patagónica o Principal
3. La Cuenca de Magallanes o Austral

La primera unidad, conformada por un sinnúmero de islas a lo largo de la costa pacífica, se extiende hasta el Cabo de Hornos de manera continua. Representa la continuación austral de la Cordillera de la Costa, unidad morfoestructural que está bien expuesta y desarrollada en Chile Central, la Isla Grande de Chiloé, el Archipiélago de las Islas Guaytecas y el Archipiélago de Chonos (Natland *et al.*, 1974). Esta unidad está compuesta principalmente de rocas metasedimentarias paleozoicas, rocas intrusivas dioríticas y diversos complejos acrecionarios atribuidos a terrenos alóctonos, como las islas Madre de Dios y Diego de Almagro (Hervé *et al.*, 2003a). En el extremo austral del Archipiélago se pueden encontrar ofiolitas y rocas volcánicas basálticas (*e.g.* Isla Hoste).

La segunda unidad se extiende hacia el sur como un cinturón montañoso continuo inmediatamente al este del Archipiélago. Bajo los  $52^{\circ}\text{S}$  la orientación norte-sur cambia a una tendencia noroeste-sureste, y la cadena montañosa es cortada por el mar en varios lugares.

Continúa entonces de norte a sur a través de las islas Santa Inés, Clarence, Capitán Aracena y Tierra del Fuego, donde recibe el toponimio de Cordillera Darwin. Finalmente, a la altura de la Isla de los Estados la orientación de la cadena montañosa es oeste-este (Natland *et al.*, 1974).

El núcleo de la Cordillera Principal está compuesto en la zona continental por el Batolito Patagónico, el Complejo Metamórfico Andino Oriental y, en menor medida, intrusivos de diversas signaturas intermedias, ofiolitas y volcanitas, que a su vez están cortadas por numerosas extrusiones de edad pliocena-holocena. En la zona de la isla Tierra del Fuego el núcleo corresponde principalmente al Complejo Metamórfico Cordillera Darwin (Hervé *et al.*, 2003a).

La tercera unidad se extiende inmediatamente al este de la Cordillera Principal, abarcando la zona estepárica hasta el Océano Atlántico. Está compuesta por una sucesión de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias deformadas jurásicas a neógenas, que conforman una amplia faja plegada y corrida. La unidad se describe en extenso en la sección 2.2.

La Figura 2.1 muestra la configuración morfoestructural del área descrita.

## **Evolución tectónica general de los Andes Patagónicos**

El desarrollo de los Andes Patagónicos se inicia mucho antes de la configuración de los Andes como unidad morfoestructural propiamente tal.

Durante el Devónico Tardío y hasta el Pérmico Temprano? el margen occidental de Gondwana en la zona austral habría estado dominado por un ambiente marino pasivo, dado principalmente por el registro de meta-sedimentitas turbidíticas de alta profundidad del Complejo Metamórfico Andino Oriental (Hervé *et al.*, 2007). Si bien el registro es acotado, se ha descrito una posible subducción activa en el Triásico Tardío-Jurásico Temprano debido a la presencia de diversos complejos acrecionarios costeros (*e.g.* Complejo Metamórfico Chonos, Complejo Acrecionario Madre de Dios, Complejo Metamórfico Diego de Almagro) (Hervé *et al.*, 2007). Este escenario está enmarcado en el ciclo Pre-Andino, hasta al menos el Triásico Tardío. Tras esta fase pobremente registrada, el desarrollo de los Andes presenta una evolución más detallada y estudiada.

Acorde a Charrier *et al.* (2007), durante el Ciclo Andino en los Andes Patagónicos Australes se han distinguido tres etapas de evolución tectónica:

1. Extensión regional desde el Jurásico Medio al Jurásico Tardío; desmembramiento de Gondwana
2. Subsistencia tectónica desde el Cretácico Temprano al Cretácico medio
3. Inversión tectónica desde el Cretácico Tardío al presente, con desarrollo de una cuenca de antepaís y de un cinturón de fajas plegadas y corridas

La primera etapa se ha vinculado con un importante evento extensional mesozoico, probablemente causado por el considerable alzamiento diapírico del manto, que habría culminado con la apertura del Océano Atlántico, afectando los extremos australes de Sudamérica, África y parte de Antártica. Este evento habría producido las cuencas extensionales en la Patagonia. Se destaca una orientación NNO-SSE de las cuencas, lo cual sugeriría un control de las

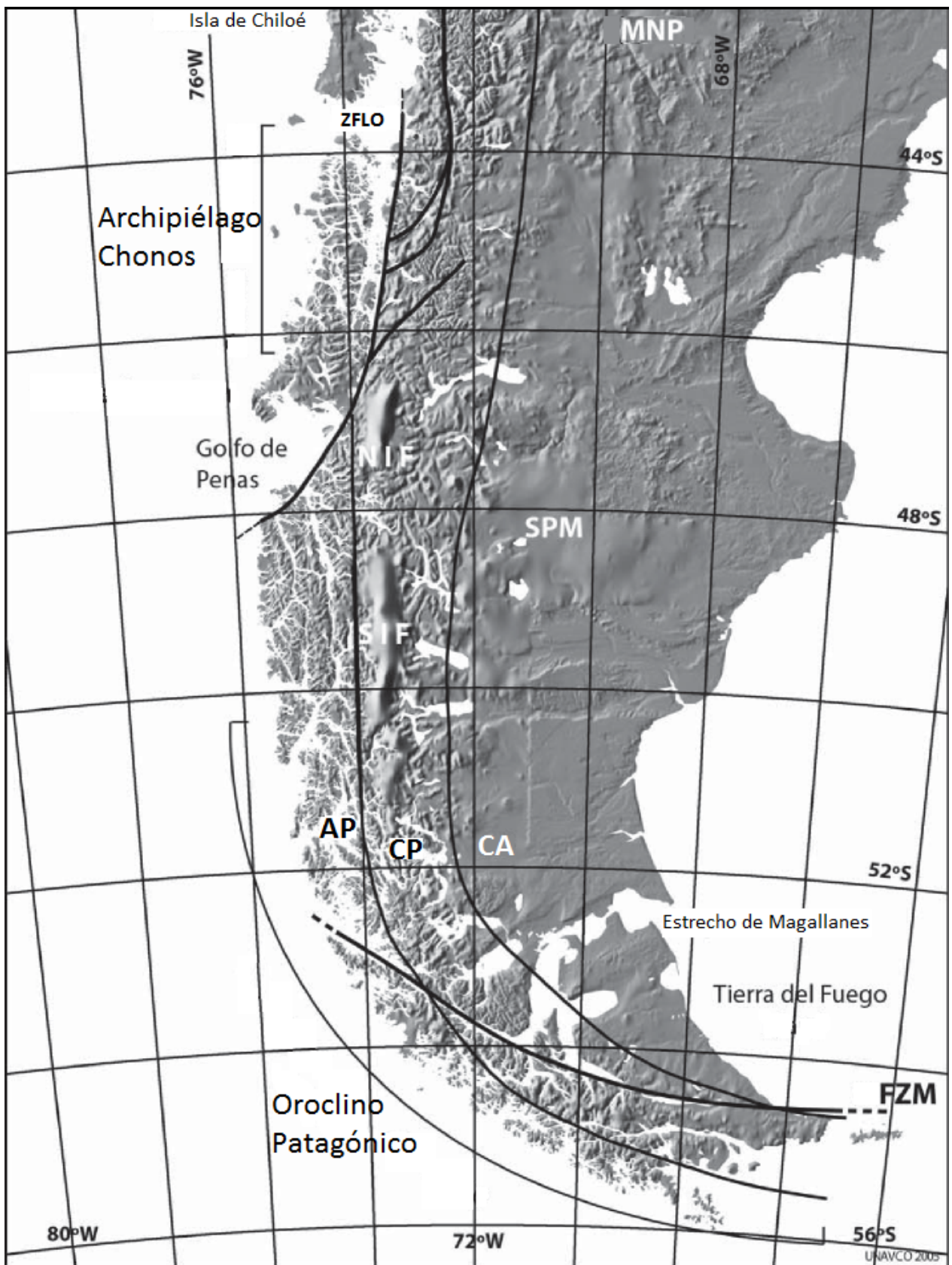


Figura 2.1: Modelo de Elevación Digital del cono sur de Sudamérica. AP: Archipiélago Patagónico. CP: Cordillera Patagónica. CA: Cuenca de Antepaís (modificado de Charrier *et al.*, 2007)

fracturas preexistentes formadas, probablemente, durante un evento extensional del límite 'Permo-Triásico' o durante el Ciclo Pre-Andino (Charrier *et al.*, 2007). La región también fue afectada simultáneamente por episodios volcánicos félsicos, además de plutonismo rio-dacítico tipo I derivado de anatexis cortical, los cuales han sido asignados a la Gran Provincia Magmática de Chon Aike (Mpodozis y Kay, 1990). La sucesión de los eventos descritos generó el depósito de una gruesa capa denominada "Complejo Porfirítico de la Patagonia" (Quensel, 1913), equivalente a la Formación Tobífera de Thomas (1949). En el extremo sur (alrededor de los 55°S) los complejos ofiolíticos Tortuga y Sarmiento permitieron caracterizar la llamada "Cuenca Marginal de Rocas Verdes", un sistema de rift abortado que habría comenzado su apertura entre los 152-147Ma (Calderón, 2006). Bajo estas conjeturas, el período es simultáneo con la primera sub-etapa de la primera etapa del Ciclo Andino de Chile Central.

La segunda etapa se caracteriza por una importante transgresión marina iniciada en el Jurásico Tardío a Cretácico Temprano, que además coincide con la transgresión marina de la segunda sub-etapa de la primera etapa del Ciclo Andino en Chile Central. La sedimentación formó potentes sucesiones de depósitos marinos con fuertes variaciones de facies en sentido este-oeste, evidenciadas por las distintas unidades estratificadas de la cuenca.

La tercera etapa se desarrolla en forma continua y está caracterizada por importantes eventos de acortamiento y alzamiento, junto con distintos episodios de transgresiones marinas, tanto pacíficas como atlánticas. El período, correlacionable con la segunda y tercera etapa del Ciclo Andino, ha sido descrito y caracterizado en gran detalle por distintos autores a lo largo de los años (*e.g.* Galeazzi, 1998; Kraemer, 1998; Ghiglione *et al.* 2009) y es desglosado en la sección 2.2.2.

## 2.2. La Cuenca de Magallanes-Austral

La Cuenca de Magallanes o Cuenca Austral comprende una sucesión de unidades volcánicas, sedimentarias y volcano-sedimentarias, tanto marinas como continentales, en un registro que va desde el Jurásico Medio-Superior hasta el Cuaternario. En Chile y Argentina abarca un área sobre los 160.000  $km^2$  y su máximo espesor alcanza los 8.000 m en el sector de Península Brunswick, cerca de la ciudad de Punta Arenas. Hacia el norte se extiende, al menos, hasta el Lago Viedma (49°S). Hacia el sur queda delimitada por el contacto entre las placas Sudamericana, Antártica y Scotia, en una zona de complejas estructuras de rumbo y transpresivas. El límite hacia el oeste está conformado por los Andes Patagónicos, compuestos del Complejo Metamórfico de los Andes Orientales y el Batolito Patagónico. Hacia el este la cuenca está cerrada por el Arco de Río Chico-Dungeness (Figura 2.2).

La cuenca ha sido afectada por extensión y rifts desde el quiebre de Gondwana a fines del Triásico y, tras ello, fue deformada intensamente durante la orogénesis andina (*e.g.* Charrier *et al.*, 2007; Ghiglione *et al.*, 2009; Likerman *et al.*, 2013), a partir del Cretácico Tardío.



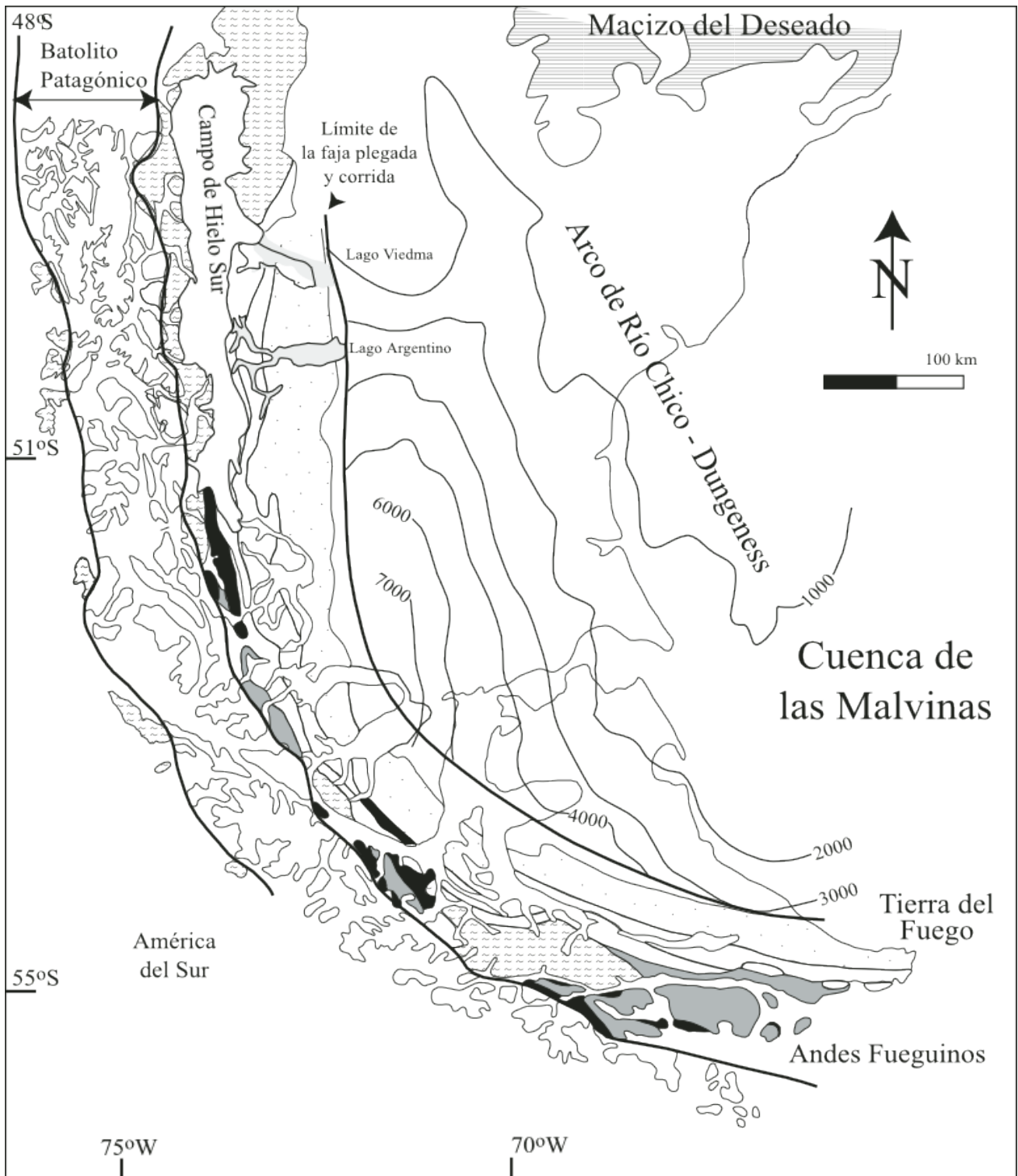


Figura 2.2: Cuenca de Magallanes y unidades morfoestructurales principales. Las isolíneas, en metros, muestran el espesor de los sedimentos (modificado de Fildani y Hessler, 2005).

## 2.2.1. Estratigrafía de la Cuenca de Magallanes

En esta sección se detallan las principales unidades litoestratigráficas que componen el registro de la Cuenca de Magallanes en la zona de la provincia de Última Esperanza y la provincia de Santa Cruz, Argentina. Sin embargo, a modo de contextualizar, algunos elementos se describen pese a encontrarse fuera de estas provincias. Se ha utilizado la nomenclatura chilena de las unidades, a partir de trabajos que incluyen recopilaciones simplificadas (*e.g.* Charrier *et al.*, 2007; Hervé *et al.*, 2007; Fosdick *et al.*, 2011). Este detalle se resume en la Figura 2.3.

### Basamento Paleozoico

El basamento de la cuenca está conformado por distintos complejos metamórficos generados entre el Paleozoico medio y el Mesozoico temprano y, en menor medida, granitoides cámbricos. Estos serían el remanente del margen occidental del supercontinente Gondwana y presentan una distribución casi continua paralela al Batolito Patagónico. Dentro de las unidades más relevantes se destacan: el Complejo Metamórfico Andino Oriental y el Complejo Metamórfico Cordillera Darwin.

#### 1. Complejo Metamórfico Andino Oriental, CMAO

(Paleozoico Medio-Tardío)

Esta unidad consiste principalmente de sucesiones polideformadas de meta-turbiditas con cuerpos menores de calizas y meta-basitas (Hervé *et al.*, 2007). Comprende las unidades Cochrane y Lago General Carrera, previamente definidas por Lagally (1975), las Formaciones Bahía de la Lancha y Río Lácteo, así como también el Complejo Staines (Allen, 1982). El grado metamórfico se encuentra dentro de la facies esquistos verdes o menor, con rocas de mayor grado apareciendo sólo en aureolas de contacto con intrusiones mesozoicas o cenozoicas (Calderón, 2000). Esta unidad tiene componentes sedimentarios depositados en el Devónico Tardío-Carbonífero temprano, mientras que los depósitos más jóvenes en afloramientos de las áreas más occidentales llegan hasta el Pérmico (Hervé *et al.*, 2003a). Algunos autores (*e.g.* Hervé *et al.*, 1998; Faúndez *et al.*, 2002; Ramírez, 2002; Augustsson y Bahlburg, 2003) han sugerido que las turbiditas se habrían depositado en un ambiente de margen continental pasivo. Edades U-Pb y trazas de fisión en circones detríticos indicarían que los sedimentos fueron metamorfizados antes del Pérmico Tardío (Thomson y Hervé, 2002) bajo condiciones metamórficas P-T menores que las típicas de complejos acrecionarios (Ramírez, 2002).

#### 2. Complejo Metamórfico Cordillera Darwin, CMCD

(Paleozoico Tardío-Triásico Temprano)

Esta unidad consiste en meta-volcanitas y meta-sedimentitas de supuesta edad paleozoica tardía-mesozoica temprana. El metamorfismo está caracterizado por la generación de zonas de biotita, estaurólita, cianita y silimanita, las cuales son únicas dentro de los complejos metamórficos de la Patagonia. Todavía no está clara la relación entre esta unidad, el CMAO y los complejos acrecionarios de la costa de los Andes Patagónicos

(Hervé *et al.*, 2007).

## **Cuenca de Rocas Verdes [Jurásico Superior - Cretácico Inferior]**

Bajo el contexto de la apertura de la Cuenca Marginal de Rocas Verdes, dos formaciones son las que representan el evento a plenitud en la Patagonia Austral:

### **1. Formación Tobífera (Thomas, 1949)**

(Jurásico Tardío)

Sobreyace en discordancia al basamento metamórfico paleozoico. Esta unidad, equivalente a los Grupos Ibañez en Aysén y El Quemado en la provincia de Santa Cruz, se compone principalmente de depósitos volcánicos riolíticos, con intercalaciones de lutitas y depósitos volcanoclásticos predominantemente silíceos. Los ambientes deposicionales en que se ha caracterizado esta unidad han sido principalmente marinos someros (Fildani y Hessler, 2005; Fosdick *et al.*, 2011). La Formación Tobífera es también el equivalente del "Complejo Porfirítico de la Patagonia" de Quensel (1913) y de la Formación Quemado de Katz (1963), y se asocia a la gran provincia magmática silícea de Chon Aike, descrita en Mpodozis y Kay (1990).

### **2. Formación Zapata (Katz, 1963)**

(Titoniano - Cenomaniano)

Sobreyace en contacto transicional a la Formación Tobífera. Equivalente a la Formación Yaghan en la Isla de Tierra del Fuego. Compuesta principalmente, de oeste a este, por lutitas negras con laminación fina, presentando escasas intercalaciones de areniscas, limolitas y rarísimas calizas. Se ha estimado una potencia que generalmente oscila entre 1.000 m y 1.200 m (Fildani y Hessler, 2005), con un espesor mínimo de 630 m (Wilson, 1991). A partir de pirita diseminada y el color negro en casi toda la formación se sugirió un ambiente deposicional anóxico, lo cual, junto al contenido fosilífero y las estructuras sedimentarias han caracterizado la unidad en ambientes marinos profundos.

## **Cuenca de Magallanes en el Cretácico Superior**

Con el cambio de extensión a contracción, que da inicio al cierre de la Cuenca de Rocas Verdes, las formaciones que caracterizan los depósitos presentan importante deformación que se atenúa de oeste a este. Las unidades que caracterizan el ciclo son:

### **1. Formación Punta Barrosa (Cecioni, 1956a; Katz, 1963)**

(Albiano - Turoniano)

Sobreyace de forma transicional a la Formación Zapata. Equivalente a la Formación Erezcano y al miembro superior de la Formación Río Mayer. La parte inferior de la formación se compone predominantemente de lutitas, mientras que la parte superior contiene areniscas amalgamadas medias a gruesas con intercalaciones de niveles finos. Se han descrito, para los niveles superiores, turbiditas intercaladas con las unidades Tb, Tc y Td del Ciclo de Bouma, abundantes limolitas y limolitas lutíticas; por su parte, los

ensambles bioestratigráficos sugieren una profundidad abisal (1.000-2.000 m) (Fildani y Hessler, 2005).

## 2. Formación Cerro Toro (Cecioni, 1955e)

(Coniaciano - Campaniano)

Esta unidad sobreyace de forma concordante a la Formación Punta Barrosa. Es equivalente a la Formación Alta Vista descrita en la provincia de Santa Cruz. Consiste en más de 2.000 m de limolitas turbidíticas pero con lentes de conglomerados y areniscas de hasta 400 m de espesor -miembro Lago Sofía- insertos entre las mismas (Jobe *et al.*, 2010).

## 3. Formación Tres Pasos (Katz, 1963)

(Campaniano)

Concordante con la subyacente Formación Cerro Toro. Equivalente a las formaciones Cerro Fortaleza, Anita y Chorrillo descritas en Argentina. Se compone de limolitas y lutitas grises bien estratificadas intercaladas con areniscas finas a gruesas amarillentas. Presenta un abundante contenido de improntas foliares y trazas fósiles. El espesor aproximado de la formación va entre los 500-700 m. Representaría un sistema mayor de talud (Macellari *et al.*, 1989), con abanicos submarinos canalizados y/o lóbulos (Katz, 1963; Natland *et al.* 1974; Smith, 1977; Arbe y Hechem, 1985; Romans *et al.*, 2009a).

## 4. Formación Dorotea (Cecioni, 1957a)

(Maastrichtiano inferior - Maastrichtiano tardío)

Sobreyace de forma concordante la Formación Tres Pasos y subyace, en discordancia erosiva, a la Formación Man Aike (Eoceno Medio). Equivalente a la Formación Cerro Cazador y con dudas a la base de la Formación Cerro Dorotea descritas en la frontera y el lado argentino de la misma por Hünicken, 1955. También es equivalente a la Formación El Calafate, descrita justo al norte de la Provincia de Última Esperanza, al sur de Lago Argentino. Corresponde a un conjunto de areniscas grisáceas verdosas intercaladas con lutitas, limolitas carbonosas y, ocasionalmente conglomerados. El máximo espesor de la unidad sería de 1.000 m. Presenta un rico contenido fosilífero, con restos de fauna, flora y trazas de excelente preservación (e.g. Otero *et al.*, 2013; Rubilar-Rogers *et al.*, 2013). Las facies deposicionales y el contenido de colonias de ostras de las unidades superiores sugieren un ambiente de lagoon salobre. Limolitas con improntas foliares y las areniscas que las suprayacen han sido interpretadas como ambientes de planicie mareal (Yabe *et al.*, 2006).

## Cuenca de Magallanes en el Cenozoico

La estratigrafía cenozoica de la cuenca tiene su registro más completo y continuo en la isla Tierra del Fuego, mientras que en la zona continental de Magallanes el registro es bastante fragmentario, principalmente por el mayor efecto erosivo de la acción glacial durante el Cuaternario. Esto queda en evidencia al observar el patrón de distribución de los afloramientos cenozoicos en el mapa Geológico de Chile de SERNAGEOMIN (2003). Dado aquel hecho, se han descrito en forma difusa e interrumpida las unidades litoestratigráficas de la región.

Además, cabe destacar que existe un gran contraste entre el grado de detalle de las descripciones en el área de península Brunswick y el área del borde nororiental de la Provincia de Última Esperanza. Esta diferencia se podría atribuir, en parte, a que mejores accesos a los afloramientos condicionaron descripciones más extensas en la zona de seno Skyring, en desmedro del extremo nororiental de la región, cuya accesibilidad es aún hoy dificultosa.

A efectos del presente trabajo, se detalla en extenso la estratigrafía cenozoica del noreste de la Provincia de Última Esperanza, atingente a la zona de estudio. En específico, se describen las Formaciones Man Aike, Río Turbio, Río Leona, Estancia 25 de Mayo -Ex Formación Centinela- y Santa Cruz, además de las unidades volcánicas de Meseta Las Vizcachas.

### **Unidades estratificadas cenozoicas del noreste de la Provincia de Última Esperanza**

**1. Formación Man Aike** (Feruglio, 1938; Piatznitzky, 1938; Furque, 1973)  
(Eoceno Medio - Eoceno Superior)

Esta formación sobreyace en discordancia erosiva a la Formación Dorotea, del Maastriichtiano tardío. Corresponde a  $\sim 300$  m de areniscas de grano medio y conglomerados depositados en un ambiente estuarino (Le Roux. *et al.*, 2010). Contiene un abundante registro fosilífero que se caracteriza por fragmentos de dentadura de peces cartilaginosos e invertebrados marinos (Otero *et al.*, 2013). En menor medida se encuentran improntas foliares y trazas fósiles. A partir de una datación U-Pb en circones detríticos se acotó la edad de la unidad en 40-36 Ma (Gutierrez *et al.*, 2013). Sería equivalente al miembro inferior de la Formación Río Turbio en el sector de Sierra Dorotea, tanto litológicamente como en contenido fosilífero.

**2. Formación Río Leona** (Feruglio 1938, 1944, 1949; Furque y Camacho, 1972)  
(Oligoceno Tardío - Aquitaniano)

Esta unidad sobreyace en paraconcordancia a la Formación Man Aike. Tiene un espesor aproximado de  $\sim 200$  m, consistente en limolitas y areniscas de grano medio con capas de lignito en la base. En algunas localidades presenta niveles de conglomerados inmaduros subredondeados monomíticos de espesor variable. El ambiente deposicional característico es un sistema de ríos anastomosados y meándricos, junto con sucesivas marismas (Marensi *et al.*, 2000, 2005). Los fósiles más comunes son improntas foliares bien preservadas y fragmentos de troncos (Barreda *et al.*, 2009; Torres *et al.*, 2013).

**3. Formación Estancia 25 de Mayo (Ex Centinela)** (Cuitiño y Scasso, 2010)  
(Aquitaniano-Burdigaliano)

Sobreyace de forma transicional a concordante a la Formación Río Leona. Representaría la transgresión "Patagoniana"/"Superpatagoniana" descrita por Florentino Ameghino para el Mioceno Temprano, entre los 20-19 Ma (Cuitiño *et al.*, 2013, Parras *et al.*, 2012, Bostelmann *et al.*, 2013). Se compone principalmente de areniscas y limolitas de ambientes marinos someros a costeros, con intercalaciones de niveles piroclásticos característicos. Fue subdividida en el Miembro Quién Sabe (Inferior) y el Miembro Bandurrias (Superior). El primero consiste en areniscas finas y limolitas café macizas, intensamente bioturbadas y con un abundante contenido de bivalvos, gastrópodos, equi-

nodermos y crustáceos (*e.g.* arrecifes de *Ostrea hatcheri*, gastrópodos Leonenses como *Perissodonta ameghinoi* y cangrejos de la especie *Chaceon peruvianum*). Habría sido depositado en un ambiente marino costero de moderada a baja energía (Cuitiño y Scasso, 2010; Cuitiño y Scasso, 2013). El Miembro Bandurrias consiste en areniscas medias a gruesas con numerosas superficies erosivas, estructuras sedimentarias y moderada a escasa bioturbación. Habría sido acumulado en un ambiente marino somero dominado por mareas o en un ambiente estuarino (Cuitiño y Scasso, 2013). Un horizonte piroclástico riódacítico de 2 m de espesor se encuentra cercano a la base de la sucesión, que en la localidad tipo de Argentina fue reconocido como Nivel Piroclástico Inferior. En esos afloramientos edades U-Pb indicaron una edad de  $19.14 \pm 0.5$  Ma (Cuitiño et al., 2013).

#### 4. **Formación Santa Cruz** (Ameghino, 1889; Zambrano y Urien, 1970) (Burdigaliano medio - Burdigaliano superior)

Esta unidad sobreyace de manera concordante a la Formación Estancia 25 de Mayo (Bostelmann *et al.*, 2013), alcanzando un espesor de  $\sim 100$  m consistentes en areniscas medias a gruesas, conglomerados y limolitas depositadas en un ambiente fluvial con ríos meándricos o lagos empantanados. Un ensamble de mamíferos terrestres fósiles indicaría una Edad Mamífero post-Colhuehuapense, pre-Santacruzense (19 a 17.8 Ma), edad que es respaldada por una datación U-Pb en circones detríticos de  $18.23 \pm 0.26$  Ma (Bostelmann *et al.*, 2013).

#### 5. **Basaltos de Meseta Las Vizcachas** (Plioceno tardío? - Pleistoceno tardío?)

Además de las unidades sedimentarias, la Sierra Baguales está dominada, en el techo, por una secuencia subhorizontal volcánicla predominante basáltica de gran potencia ( $\sim 1.500$  m), que ha sido denominada históricamente Meseta Las Vizcachas en el sector argentino. Solo los trabajos de Muñoz (1981) y Kilian *et al.*, (1997) han estudiado la composición geoquímica, pero la geocronología no está todavía completamente esclarecida. Muñoz (1981) sugiere la separación en dos unidades: La unidad inferior, con una edad pliocena tardía-pleistocena temprana, consiste en una potente secuencia volcano-sedimentaria de basaltos, tobas, brechas y depósitos glaciales y fluviales, conformando la meseta elevada. La unidad más joven consiste en basaltos vesiculares y cuellos volcánicos erodados.

### 2.2.2. Marco tectono-estructural de la Cuenca de Magallanes

La historia evolutiva de la Cuenca de Magallanes muestra que ha estado sujeta a sucesivos eventos deformacionales de gran escala durante el Mesozoico y Cenozoico, como se mencionó en la sección 2.1. Diversos autores han caracterizado períodos con distinto grado de detalle (*e.g.* Galeazzi, 1998; Kraemer, 1998; Charrier *et al.*, 2007; Ghiglione *et al.* 2009; Fosdick *et al.* 2011; Likerman *et al.*, 2013). Se mencionan las etapas y dominios mayores, junto con hacer hincapié en el proceso deformacional más reciente, atingente al presente estudio.

Galeazzi (1998) distingue tres etapas principales acorde al estilo de la deformación: el período de extensión generalizada que va desde el Jurásico Tardío al Cretácico Temprano

-Etapa syn-rift-, un período de subsidencia termal en el Cretácico Temprano -Etapa post-rift-, y un prolongado período de contracción desde el Cretácico Tardío al presente -Etapa de antepaís- (Figura 2.4); esto coincide con lo descrito en Charrier *et al.* (2007), es decir, la apertura y cierre de la Cuenca Marginal de Rocas Verdes y el desarrollo de un frente deformacional activo desde el Cretácico medio. Para la tercera etapa, en el segmento entre las latitudes 49° a 52°S, algunos trabajos como Kraemer (1998); Ghiglione *et al.* (2009) y más recientemente Likerman *et al.* (2013), describen la Faja Plegada y Corrida de los Andes Australes -FPCAA- como una zona de deformación con dominios que varían de oeste a este pero que mantienen una continuidad de norte a sur. La FPCAA queda descrita entonces, de oeste a este, como sigue:

1. Faja plegada y Corrida de Piel Gruesa - Dominio del basamento. El segmento más occidental de la faja, donde es exhumado el basamento metamórfico representado por el CMAO y, en algunos lugares parte de los intrusivos que conforman el Batolito Patagónico. La condición de 'Piel o Escama Gruesa' está asociada a las fallas de basamento comúnmente atribuidas a estructuras normales que representarían bordes de cuencas. En este caso, los bordes de la Cuenca Marginal de Rocas Verdes.
2. Faja plegada y Corrida de Piel Fina - Dominio interno. Este dominio presenta afloramientos intensamente deformados de la cobertura sedimentaria mesozoica, principalmente desde las formaciones Tobífera a Dorotea. En algunos sectores, como el sur del Lago Argentino o el Parque Nacional Torres del Paine, es común la disposición paralela de sucesivos anticlinales y sinclinales con ejes norte-sur.
3. Faja plegada y Corrida de Piel Fina - Dominio externo. Este dominio es una continuidad de la deformación con mayor longitud de onda y mayor rango estratigráfico: abarca hasta la cobertura sedimentaria neógena. Las unidades se configuran en grandes monoclinales con manteos de hasta  $\sim 30^\circ\text{E}$ .
4. Cuenca de antepaís o sector no deformado. Esta zona abarca hasta los depósitos cuaternarios, preservando la inicial disposición subhorizontal.

Además, en planta es posible hacer la distinción de 'Zonas Triangulares', es decir, áreas extensas con dicha geometría delimitadas de norte a sur por fallas transformantes en dirección oeste-este, posiblemente heredadas de los bordes de cuencas jurásicas (Figura 2.5).

Es sobre esta base estructural en que Fosdick *et al.* (2011) sugiere un modelo de seis etapas para la cinemática de acortamiento, alzamiento y deformación. Este modelo es descrito a continuación.

### **Modelo cinemático de la Faja Plegada y Corrida de los Andes Australes (Fosdick *et al.*, 2011)**

#### **I. Inicio del acortamiento del retroarco (ca. 100-88 Ma)**

La primera etapa del modelo cinemático da cuenta del momento de inicio del acortamiento: Al final del Cretácico Temprano, cuando la Cuenca Marginal de Rocas Verdes se ha cerrado y la corteza oceánica máfica comienza a acortarse y obductarse sobre el

margen de Sudamérica. Cercano a los 51 °S el momento de inicio de la inversión generalizada de la cuenca queda mejor entendido con geocronología de U/Pb en circones del relleno cretácico superior. En el límite transicional de las formaciones Zapata y Punta Barrosa dataciones en cenizas volcánicas del mismo trabajo permitieron describir la generación de cabalgamientos incipientes ya desde los 101Ma.

- II.** Crecimiento del dúplex Tobífera, Coniaciano - Campaniano temprano (ca. 88-74 Ma)  
En esta segunda etapa, la reconstrucción palinpástica está basada en un modelo geométrico de pliegues con sucesivos cabalgamientos antiformes que se emplazan sobre basamento Paleozoico, acomodando alrededor de  $\sim 27$  km de acortamiento ( $\sim 16$  %), principalmente en la Formación Tobífera. Una estimación más conservadora usando la geometría de las capas cabalgadas totaliza  $\sim 20$  km de acortamiento. Durante la deformación de esta etapa fallas inversas sinsedimentarias y/o la reactivación de los rifts jurásicos parecen haber localizado el eje de los drenajes submarinos en el foredeep de la Cuenca de Magallanes.
- III.** Cabalgamiento Tenerife, Campaniano temprano - Oligoceno temprano (ca. 74-27 Ma)  
Esta etapa está caracterizada por el fallamiento y plegamiento de las formaciones Zapata, Punta Barrosa y Cerro Toro, evidentes en la zona de cabalgamientos Tenerife. En este momento del acortamiento el frente Andino avanzó unos  $\sim 30$  km hacia el antepaís, a lo largo de un nivel de despegue paleozoico y la zona mencionada anteriormente. Las reconstrucciones palinopásticas de la deformación indican unos  $\sim 6,1$  km de acortamiento (4 %) a lo largo del dominio de la zona Tenerife. Pliegues apretados y fallas de la Formación Punta Barrosa se localizan en los bloques colgantes de los cabalgamientos.
- IV.** Cabalgamiento Río Rincón-Castillo, Oligoceno - Mioceno Temprano (ca. 27-21 Ma)  
La deformación descrita en esta etapa por el Cabalgamiento Río Rincón-Castillo, dentro del dominio del basamento, sugiere  $\sim 3,4$  km de acortamiento (2 %) y cerca de 2 km de alzamiento del basamento paleozoico y jurásico. Este avance hacia el antepaís estaría asociado probablemente al crecimiento topográfico sustancial de la Faja Plegada y Corrida. La deposición en este momento del miembro superior de la Formación Río Turbio está caracterizada por un sistema marino somero con tendencia progradante hacia el este (Malumián *et al.*, 2001), indicando una variación importante en el eje de los patrones de dispersión de sedimentos, inicialmente paralelos al frente alzado y representados por las formaciones de ambientes marinos profundos. El cambio paleogeográfico es consistente con la termocronología (U-Th)/He en circones de la Formación Tobífera en el Anticlinal Río Rincón, que sugiere la sobrecarga de  $\sim 6 - 7$  km en un área inicialmente cubierta hasta los 20Ma (Fosdick, 2008), lo cual podría reflejar una significativa topografía dada por el Cabalgamiento Río Rincón en el Mioceno Temprano.
- V.** Cabalgamiento Toro, Mioceno temprano (ca. 21-18 Ma)  
En esta etapa la deformación queda descrita a partir del dominio del Cabalgamiento Toro, que abarca alzamiento y fuerte plegamiento desde el basamento paleozoico a la cobertura cretácea tardía. Un factor de particular importancia es la profundidad del nivel de despegue de este cabalgamiento que, a través de sísmica, se ha descrito a cerca de 15km, seguramente en una zona de debilidad del basamento paleozoico. Esta gran estructura implica un cambio en la dinámica orogénica que permitió el fallamiento a



través de un despegue profundo, produciendo una amplia zona de alzamiento y relativamente bajo acortamiento. La diferencia entre los despegues de las estructuras de la etapa IV y la V sugieren múltiples niveles de superficies débiles en el basamento. Así, la reconstrucción palinpástica entrega  $\sim 2,2$  km de acortamiento (1,4 %) y alzamiento del basamento paleozoico y jurásico. Esta deformación es sincrónica con la sedimentación del Mioceno hasta los 18 Ma.

**VI.** Alzamiento regional y exhumación del antepaís, Mioceno Medio (<18 Ma)

Esta etapa incluye los fallamientos de Santa Cruz y el alzamiento de la cuenca neógena. El acortamiento total sería de  $\sim 0,9$  km. Los autores asocian, en gran parte, esta etapa deformacional con la colisión y posterior subducción de la Dorsal de Chile, sin embargo, la edad de este evento no estaría tan clara. El modelo con  $\sim 4$  km de alzamiento, desde la etapa IV hasta el presente, sería consistente con la exhumación estimada para el Mioceno.

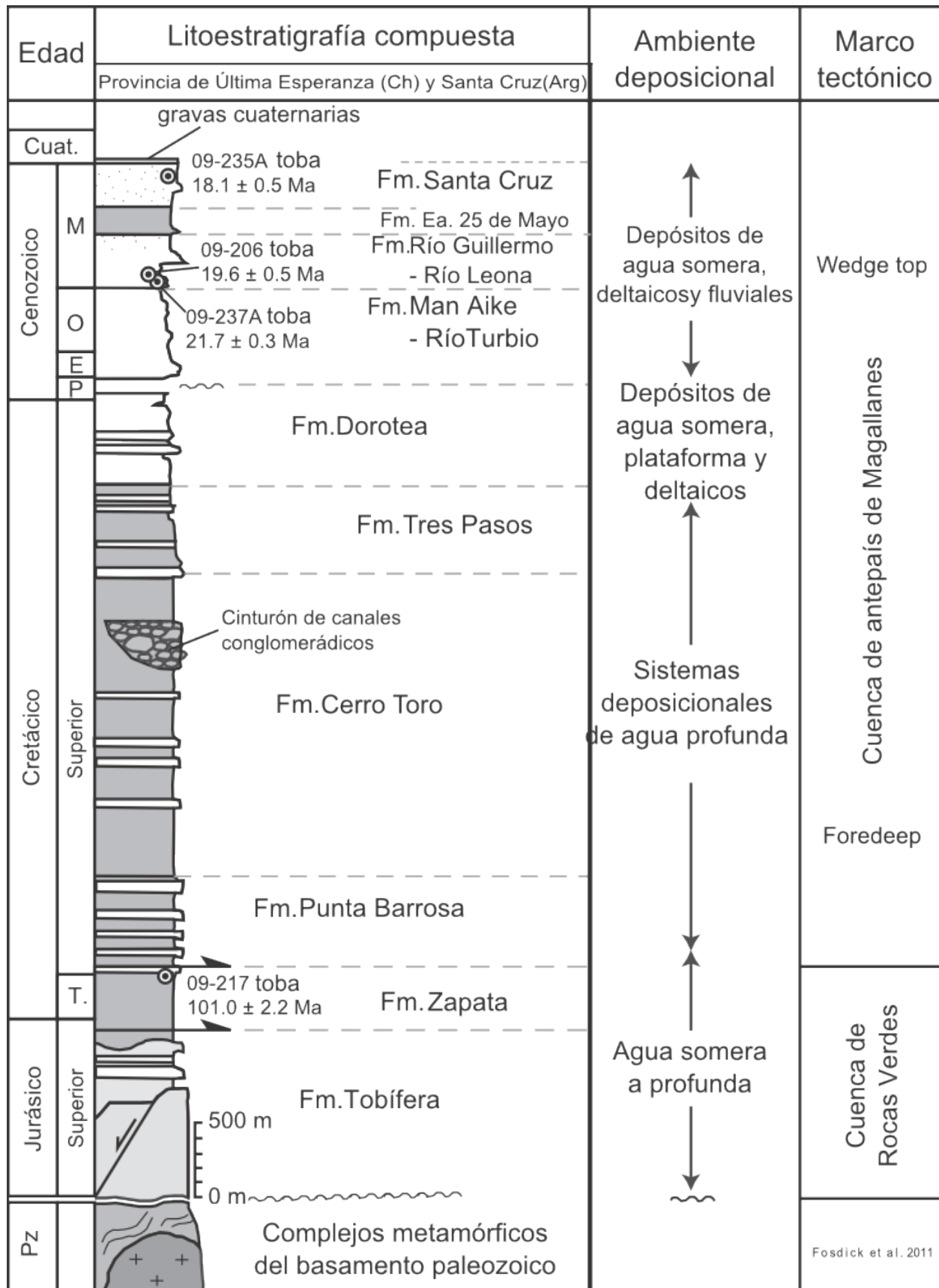


Figura 2.3: Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca de Magallanes en la provincia de Última Esperanza (modificado de Fosdick *et al.*, 2011).

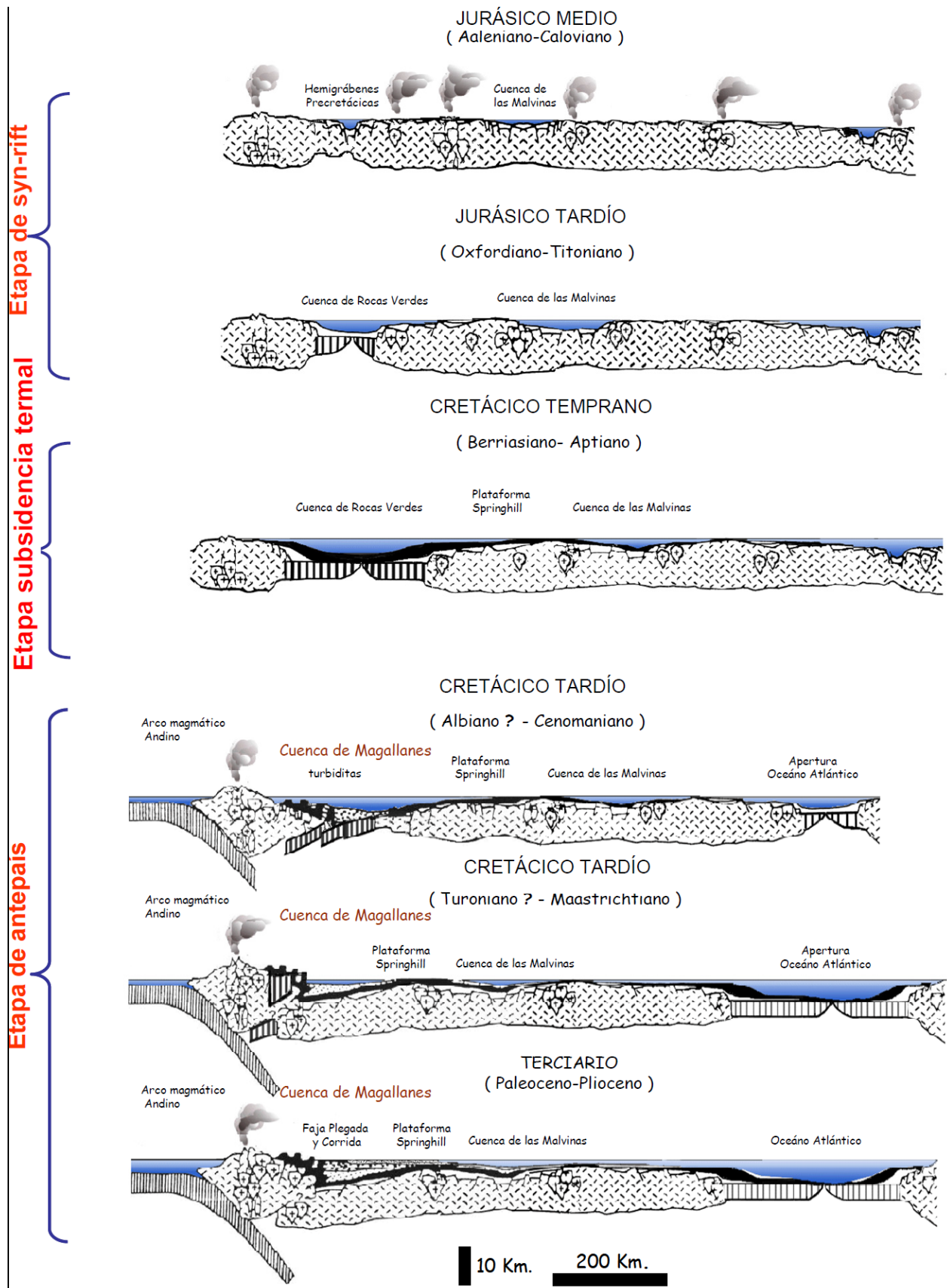


Figura 2.4: Evolución geotectónica de las cuencas de Magallanes y Malvinas (modificado de Galeazzi, 1998).

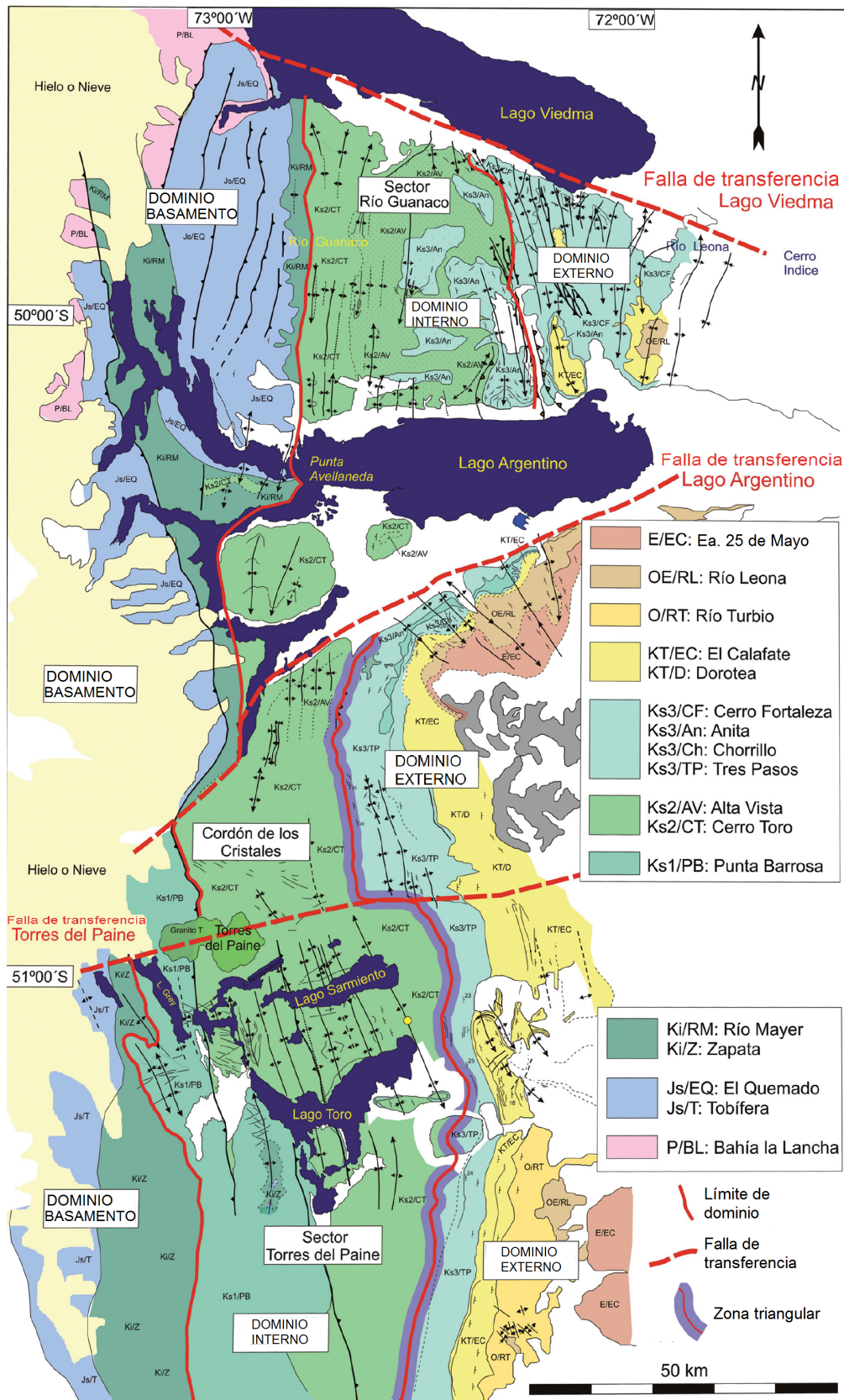


Figura 2.5: Mapa geológico y estructural de la Cuenca de Magallanes entre las latitudes 49°S y 52°S (modificado de Ghiglione *et al.*, 2009).

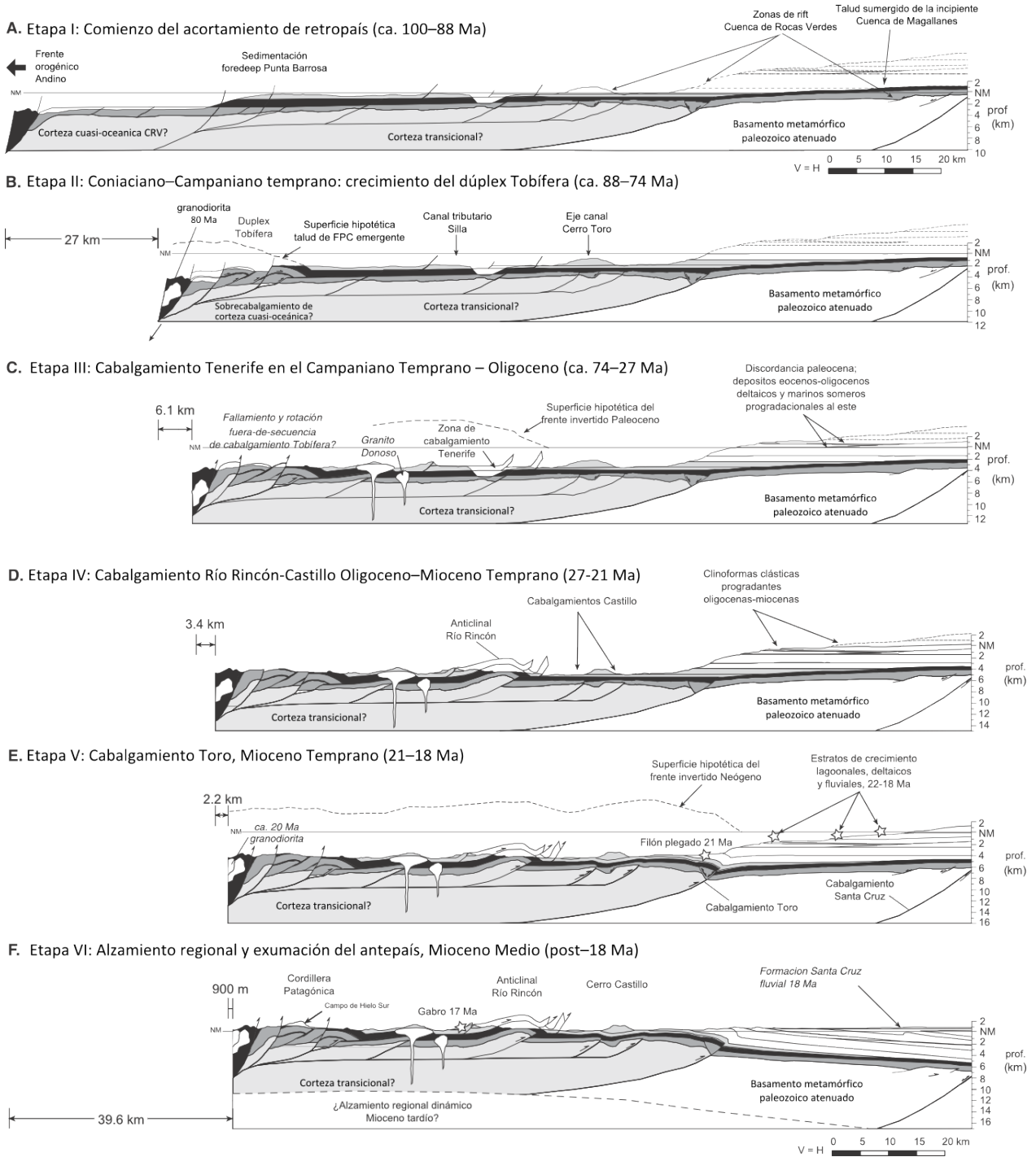
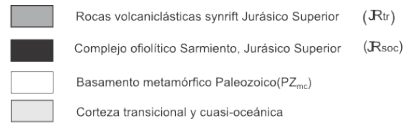
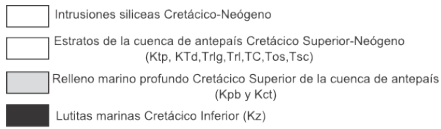


Figura 2.6: Modelo cinemático de la deformación compresiva de la Cuenca de Magallanes en la provincia de Última Esperanza (modificado de Fosdick *et al.*, 2011).

# Capítulo 3

## Marco geológico local

### 3.1. El Cenozoico en el norte de la Cuenca de Magallanes

Las unidades litoestratigráficas que componen los depósitos cenozoicos de la Cuenca de Magallanes en la Provincia de Última Esperanza y Santa Cruz presentan un registro bastante completo de la historia geológica de la zona. Sin embargo, el relleno cenozoico está marcado por una fuerte hiato temporal entre el límite Cretácico-Paleógeno y el Eoceno Inferior tardío (e.g. Cecioni y Groeber *in* Hoffstetter *et al.*, 1957). Este lapso está representado por una discordancia erosiva regional entre las unidades que abarcan el Maastrichtiano tardío (Formaciones Dorotea, Monte Chico, El Calafate y equivalentes) y el Eoceno Medio (Formaciones Man Aike y Río Turbio).

Este hiato no existiría en el área del poblado de Río Turbio en Argentina, y la aledaña frontera con Chile. En este sector se ha descrito la Formación Cerro Dorotea (Hünicken, 1955), unidad que estaría conteniendo el período Paleoceno temprano (Griffin y Hünicken, 1994; Malumián *et al.*, 2000; Rodríguez-Raising, 2010). Ésta formación sobreyace de forma concordante sobre los niveles maastrichtianos de la Formación Cerro Cazador (Hünicken, 1955; Macellari *et al.*, 1989; Griffin y Hünicken, 1994). Si bien se ha descrito en detalle la arquitectura deposicional, el contenido fosilífero y los ambientes de la unidad, no se han realizado dataciones radiométricas que soporten de manera contundente esta edad.

Para el presente estudio se detalló la estratigrafía cenozoica de la Sierra Baguales en común acuerdo con las unidades caracterizadas al sur de El Calafate, Argentina. De igual forma que en las unidades mesozoicas, se mencionaron las formaciones equivalentes para cada caso. Este detalle se puede considerar para gran parte de la zona de estudio, así como los cuadrantes del norte y sur de la Sierra Baguales, tanto en Chile como Argentina.

Debido a que la expresión de unidades cenozoicas en el borde fronterizo chileno es escaso al sur de Cerro Guido, la principal fuente de correlaciones proviene, hasta el momento, de los trabajos realizados por investigadores argentinos (e.g. Rodríguez-Raising, 2010). La sección 3.2.1 detalla la evolución histórica de los estudios en este sector de la región.



## 3.2. Geología de la Sierra Baguales

### 3.2.1. Primeros estudios en la zona

Las exploraciones científicas pioneras en el sector, tanto en el lado argentino como en el chileno, datan de 1883, cuando Steinmann dio a conocer la presencia de fósiles en el Cerro Paine (Steinmann, 1883). Tras ello, en 1890 Carlos Ameghino realizó una expedición paleontológica en el borde nororiental del Lago Argentino (Bostelmann *et al.*, 2013). Luego, en Mercerat (1893) realizó una expedición en la provincia de Santa Cruz. Sin embargo, el primer estudio geográfico y geológico de la región es publicado por Hauthal (1898), abarcando desde el Lago Argentino hasta el Seno Última Esperanza (Brandmayr, 1945).

Tras Hauthal, pocos investigadores realizaron publicaciones en detalle de las unidades sedimentarias (*e.g.* Nordenskjold, 1898 (Cecioni, 1955e); Kurtz, 1899 (Cecioni, 1955e); Wilckens, 1906, 1907a, 1907b). En su trabajo de Geología Argentina, Windhausen (1931) hizo referencia a la región y a las inmediaciones de la zona en la que posteriormente se fundó la localidad de Río Turbio (Rodríguez-Raising, 2010), describiendo algunos de los mantos de lignito en base a su potencial económico. Piatnitzky (1938) y Feruglio (1938) son los primeros en describir unidades litoestratigráficas bajo el término "Estratos de", pero cumpliendo con las convenciones estratigráficas internacionales requeridas para ello. Así quedan descritas las formaciones Man Aike y Río Leona (Feruglio, 1938, 1944, 1949), formalizadas por Furque (1973) y Furque y Camacho (1972), respectivamente.

En 1955, Hünicken realizó un ordenamiento y la caracterización de los afloramientos en la zona de Río Turbio en cuatro unidades a las que llamó: Estratos del Cerro Cazador, Estratos del Cerro Dorotea, Estratos del Río Turbio y Estratos del Río Guillermo. En su trabajo, además, presentó mapas geológicos y perfiles relevados de las siguientes localidades: inmediaciones de la Sierra Dorotea, en la estancia La Primavera (alto río Turbio) y en las estancias Cancha Carrera y Tres Marías (valle del río Guillermo) (Rodríguez-Raising, 2010). Posteriormente, debido a que las descripciones también cumplían con las normas establecidas por el Código de Nomenclatura Estratigráfica Argentino, se sustituyó el término "Estratos" por el de "Formación" (Archangelsky, 1969; Leanza, 1972), al igual que en el caso de Man Aike y Río Leona.

Furque (1973) describe la Formación Centinela como una unidad que sobreyace de forma concordante a la Formación Río Leona, pero Cuitiño y Scasso (2010) redefinen la misma con el nombre "Formación Estancia 25 de Mayo" en base a un alcance de nombres con otra formación descrita antes en el noroeste de Argentina para estratos ordovícicos (Harrington y Leanza, 1957), lo cual es coherente con las convenciones internacionales de estratigrafía. Por último, la Formación Santa Cruz, equivalente al "Piso Santacruceño" de Ameghino (1889) (Marshall, 1976; Vizcaíno *et al.*, 2012a), es identificada en distintos lugares de la provincia homónima sobreyaciendo en forma discordante a Estancia 25 de Mayo, mas solo es formalizada por Zambrano y Urien (1970).

Por su parte, en el lado chileno de la zona los primeros trabajos con descripción de unidades se refieren casi exclusivamente a informes inéditos de las exploraciones realizadas por la

Empresa Nacional de Petróleo (ENAP), desde la década de 1940 (*e.g.* Loomis y Walter, 1943; Hollister, 1943-1944). Ya a mediados en los años 50', trabajos como González y Tapia (1952a,b) y Cecioni (1955e) detallan paquetes sedimentarios con unidades cenozoicas, pero siempre dentro de informes sin publicar.

Solo en Cecioni (1957b) y Hoffstetter *et al.* (1957) es cuando se formalizan dos unidades litoestratigráficas cenozoicas de la Provincia de Última Esperanza, en Sierra Baguales: Las Formaciones Río Baguales y Las Flores.

Sin embargo, y a pesar de ese precedente, la literatura del lado chileno prosiguió con nomenclaturas erráticas de informes inéditos de ENAP, como la "Formación Río Bandurrias" de Cortés (1964), que jamás fue formalizada bajo ningún criterio o convención pues era de carácter interno.

Un caso particular es el de la Formación Palomares, mencionada en la zona por primera vez en González y Tapia (1952a). Si bien el nombre había sido utilizado inicialmente por Keidel y Hemmer (1931) para referirse a rocas con similar contenido paleontológico que la Formación Santa Cruz, suprayacentes a la Formación Estancia 25 de Mayo, debido a la falta de estudios litoestratigráficos detallados y a asignamientos taxonómicos cuestionables, Bostelmann *et al.* (2013) sugieren mantener el nombre Formación Santa Cruz para el sector.

Aquella falta de estudios con detalle litoestratigráfico permitió que, desde el mapa geológico regional de Cortes (1964) hasta el mapa 1:1.000.000 del SERNAGEOMIN (2003) no hubiese cambios ni descripciones más elaboradas en el sector (Figura 3.1). Tan solo a partir de trabajos como Le Roux *et al.*, (2010) y Bostelmann *et al.*, (2013) es que se realizan los primeros esfuerzos de reordenar y caracterizar la estratigrafía cenozoica en el lado chileno, como en parte se ha descrito. La siguiente sección detalla las unidades litoestratigráficas que, en convención, se sugieren utilizar desde los estudios del 2013.

### **3.2.2. Unidades litoestratigráficas cenozoicas de la Sierra Baguales**

La figura 3.2 resume, en mayor medida, la columna tipo de las distintas unidades estratificadas presentes en la Sierra Baguales y descritas en la sección 2.2.1, así como sus relaciones de contacto y posible extensión cronoestratigráfica. Dentro del sector, Gutiérrez *et al.* (2013) detallan un mapa geológico con la expresión y disposición general de los afloramientos de las Formaciones Man Aike, Río Leona, Estancia 25 de Mayo y Santa Cruz. Junto a aquello, se muestra la distribución de los basaltos de Meseta Las Vizcachas y de los numerosos cuerpos ígneos que cortan la sucesión estratigráfica (Figura 3.3).

### **3.2.3. Unidades cenozoicas no estratificadas de la Sierra Baguales**

Además de las unidades estratificadas, en la Sierra Baguales aflora un variado número de lacolitos y filones gabroicos de composición olivínica, dentro de los cuales se considera el Filón La Cumbre de Bostelmann *et al.*, (2013). Además, un complejo sistema de diques con



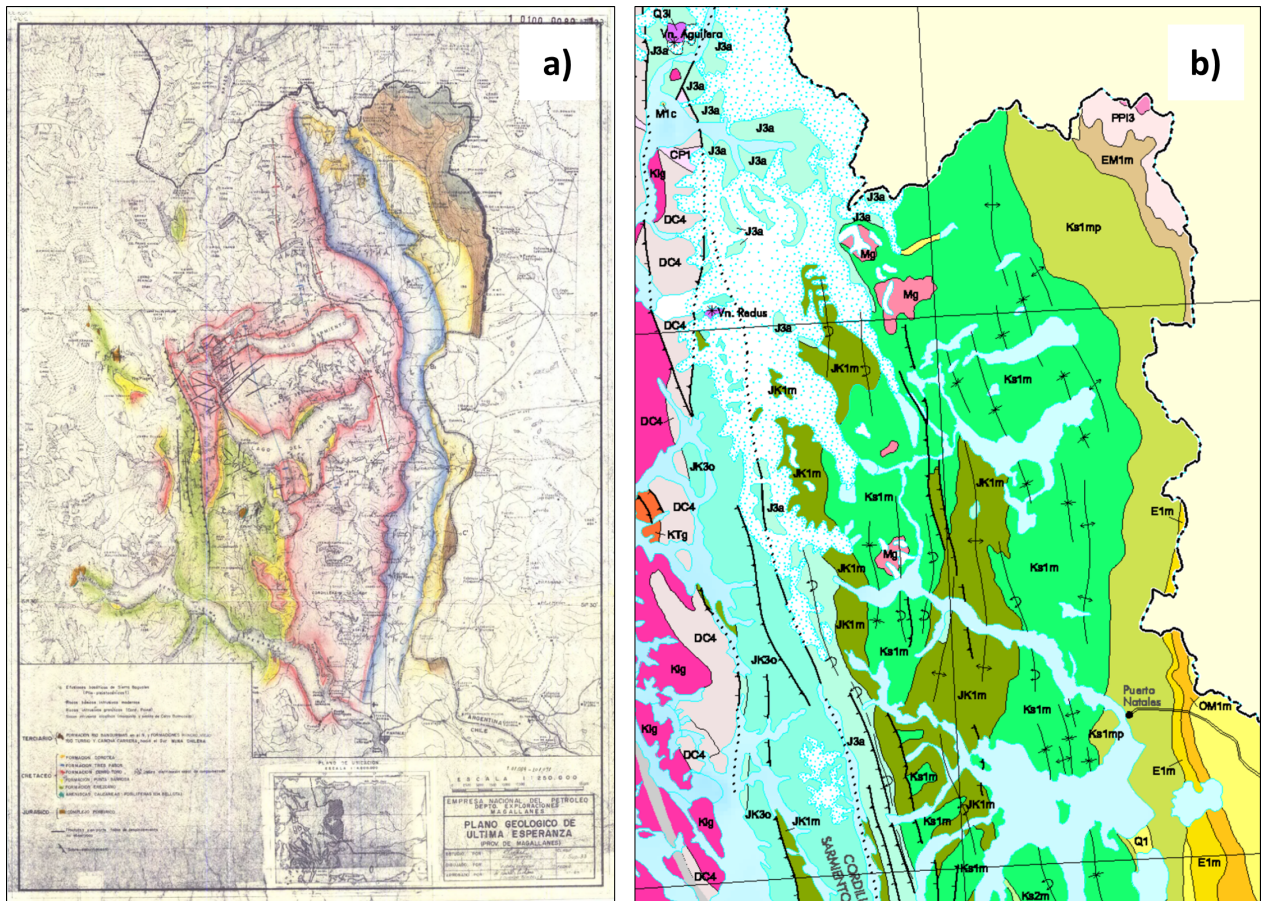


Figura 3.1: Evolución de los mapas geológicos regionales chilenos. (a) Mapa inédito de Cortés (1964). (b) Extracto del mapa 1:1.000.000 de (SERNAGEOMIN, 2003).

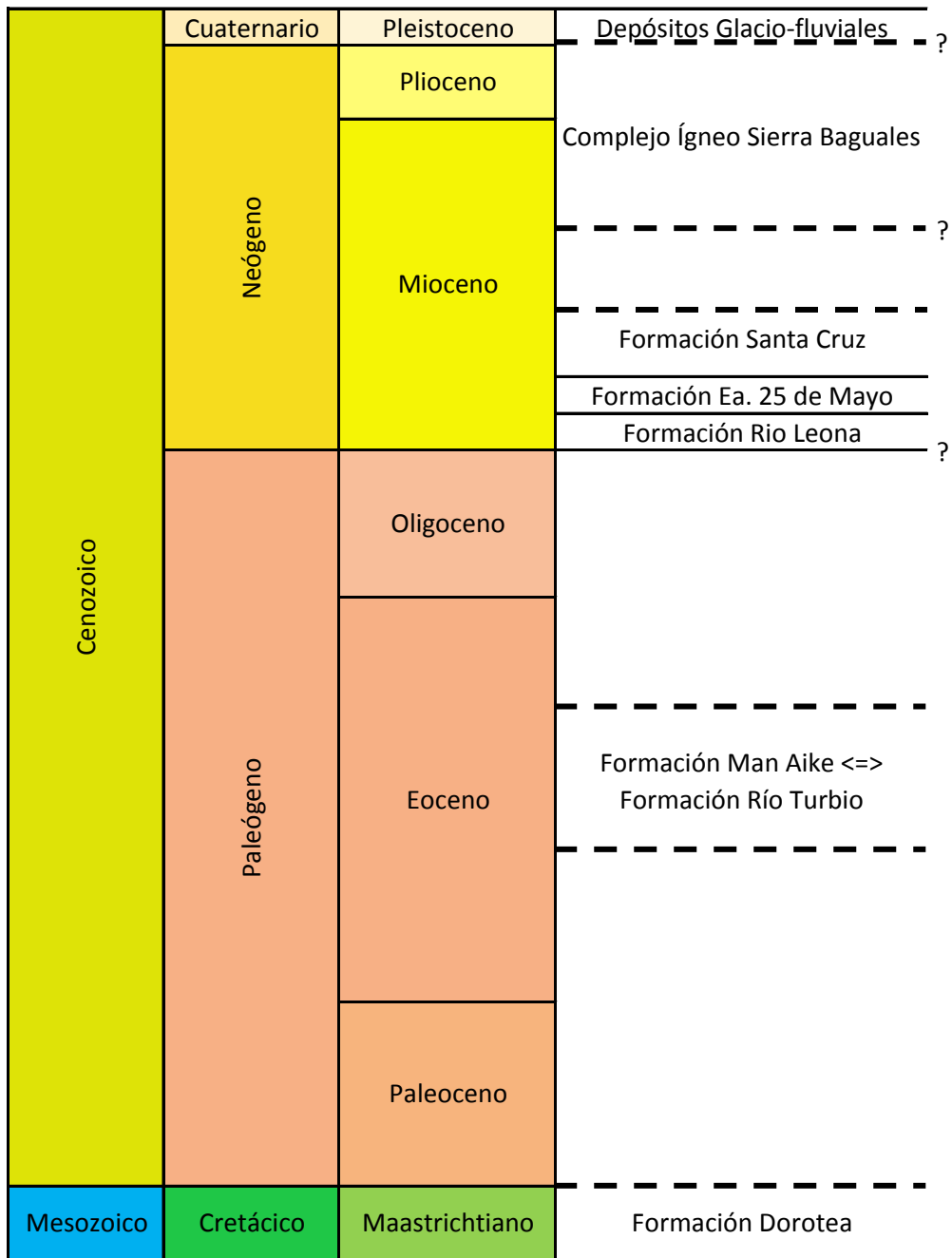


Figura 3.2: Cuadro cronoestratigráfico de la Sierra Baguales. La línea continua indica un contacto concordante. La línea discontinua indica un contacto erosivo. Los rangos temporales en discusión se denotan con un signo de interrogación.

patrones radiales este-oeste cortan toda la estratigrafía del sector, incluyendo a la Meseta Las Vizcachas. Dadas estas intrincadas rocas ígneas intrusivas, se sugiere el uso del nombre "Complejo Ígneo Sierra Baguales" para abarcar las unidades ígneas y sus relaciones de contacto todavía indeterminadas.

La figura 3.3 presenta el mapa geológico que detalla todas las unidades antes mencionadas.

### 3.3. Definición de la Formación Las Flores

La Formación Las Flores fue descrita por el geólogo italiano Giovanni Cecioni en 1957, dentro de su trabajo "Età della flora del Cerro Guido e stratigrafía del Departamento Última Esperanza", que publicó en el Bollettino della Società Geologica Italiana. Cecioni realizó este trabajo a partir de los datos que reunió en sus campañas de exploración dentro de ENAP, a inicios de la década del 50'. En el mismo se describe también la Formación Río Baguales, revisada y descartada por Le Roux *et al.*, (2010).

La definición completa, también inserta en Hoffstetter *et al.*, (1957), dice:

*"Lugar típico: Arroyo Las Flores, 1000m hacia el N del Puesto Las Flores, en la pendiente meridional del Cerro Ciudadela. Long. 72°18' W, lat. 50°55' S.*

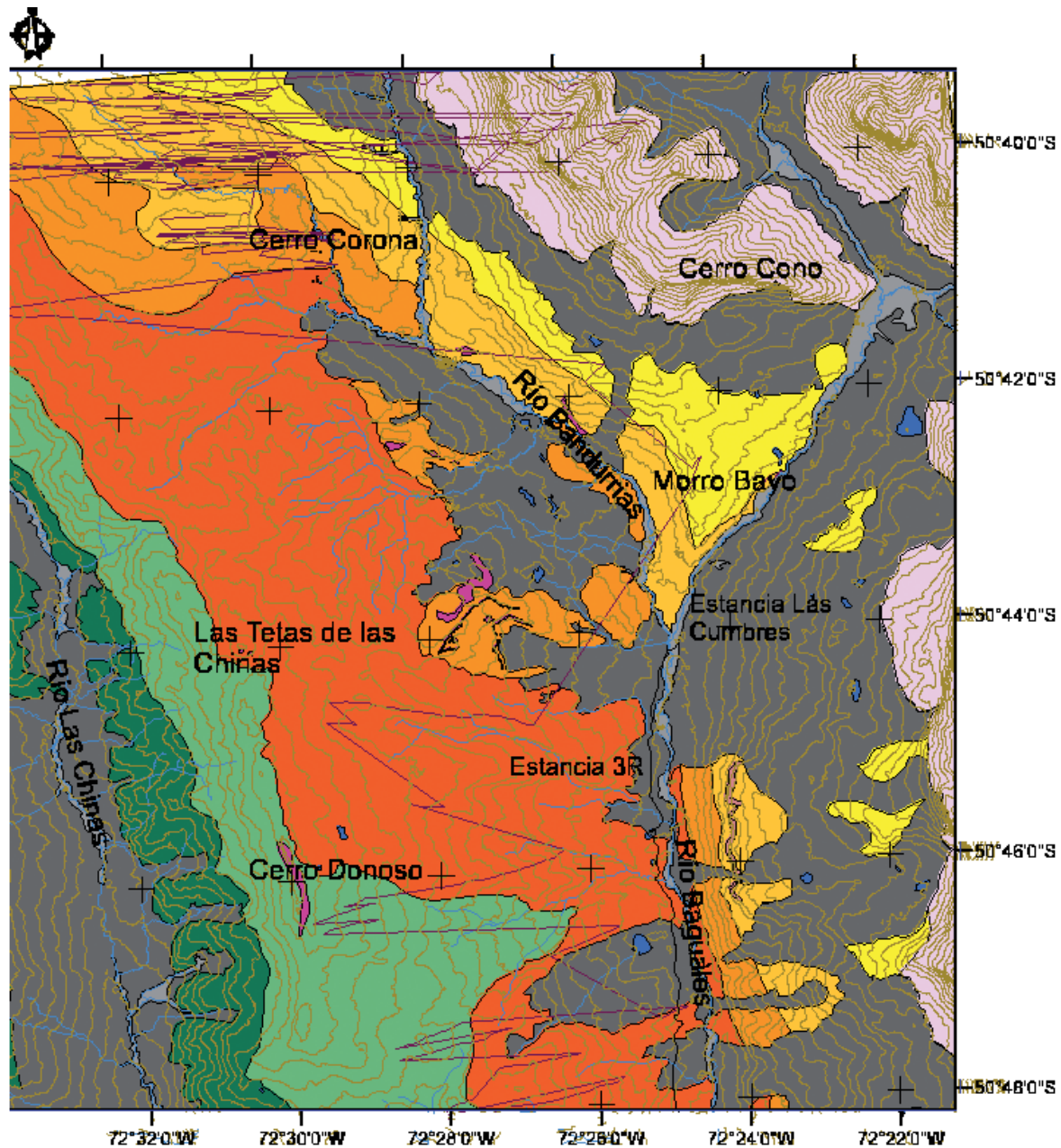
*La formación Las Flores ha sido definida como aquel complejo de sedimentos arcillosos continentales, con plantas, y con intercalaciones de areniscas continentales, que tiene por base el techo de la Formación Río Baguales; su techo es desconocido porque sus sedimentos se ponen en contacto con las rocas andesíticas que constituyen el Cerro Ciudadela y el Cerro Tridente. El Espesor visible de esta formación es de 160 m. Un examen somero de las plantas fósiles contenidas en estos sedimentos (algunas formas de Nothofagus) permite correlacionar esta formación, de una manera tentativa, con la Formación El Salto, en la porción superior de la cual se encuentran las mismas plantas. Si esta correlación fuera correcta, se podría sospechar para la Formación Las Flores la edad oligocénica, como hemos admitido tentativamente para la Formación El Salto.*

*La formación Las Flores es la más joven en la serie estratigráfica del Departamento Última Esperanza, con exclusión de los depósitos cuaternarios.*

*(G. Cecioni)"*

Al final de esta descripción se correlaciona la Formación Las Flores con el nivel superior de la Formación El Salto (González y Tapia, 1952b), cuya definición fue realizada en la estancia y chorrillo homónimo, ubicados al norte del seno Skyring. Esta formación fue descrita, al igual que la gran mayoría de las unidades del sector en el lado chileno, en un informe inédito de ENAP con finalidades internas. Sin embargo, es parcialmente avalada por los investigadores de la época al ser referida por Barwick (1955) y Cecioni (1955e).

La Formación El Salto sobreyace a la Formación Loreto y subyace a la Formación Pa-



Mapa Geológico de Sierra Baguales

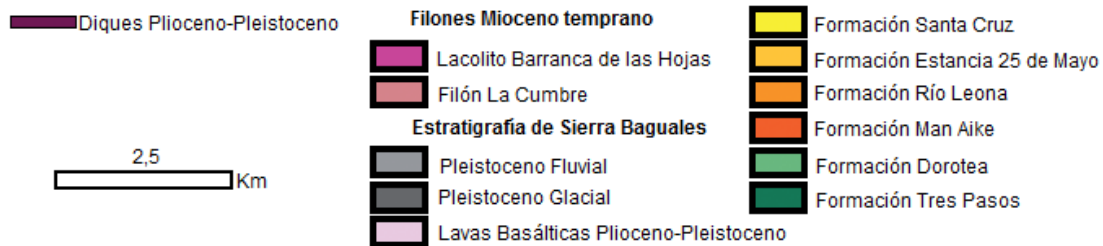


Figura 3.3: Mapa geológico de la Sierra Baguales (modificado de Gutiérrez *et al.*, 2013).

lomares. González y Tapia (1952b) subdividen la unidad en tres miembros -Las Coles, Río Verde y San Antonio-, acorde a los contrastes litológicos. El informe inédito donde se describe menciona lo siguiente:

*“[...] En la localidad típica aparece muy bien definido la base de esta formación no así el techo que no está expuesto por falta de afloramientos. La base estaría formada por el banco inferior de conglomerado que aflora en los flancos del anticlinal aserradero Montes. El techo de esta formación aparece bien expuesto en el valle del río San José y falda Sur del cerro Palomares, estaría formada por los primeros bancos de conglomerados con abundantes rocas metamórficas u granodiorita. El espesor aproximado de esta formación, presente aquí es alrededor de 750 metros.*

*En los levantamientos anteriores realizados al Oeste del área de este informe se observó una concordancia entre Loreto y El Salto. Estas observaciones sugieren condiciones similares en la subsuperficie de El Salto.*

*Caracterizan a esta formación, su ambiente continental costanero de sedimentación y su constitución litológica. Los conglomerados y areniscas son grises, de alteración rojiza, porosos, mala clasificación, estratificación cruzada, rodados redondeados, predominando los de rocas metamórficas, en la parte Superior de la Sección abundan los de lava, principalmente basalto, también se observan algunos de granodiorita, cuarzo y pómez. El cemento es amarillento a blanco cristalino, rico en ceolitas. Las arcillas son grises oscuras, finas y con concreciones calcáreas en la base de la sección y más limosas hacia el techo, algunas presenta abundantes restos en impresiones de hojas y tallos vegetales, generalmente Fagus[...]*”

Dada la posición estratigráfica bajo la Formación Palomares, que presenta fauna de la edad mamífero Santacrucesense, Hoffstetter *et al.* (1957:p.120) sugieren que la unidad no puede ser más joven que el Mioceno inferior. En el mismo trabajo, Cecioni menciona:

*“[...] La Formación El Salto ha sido mapeada por González (1952) y García (1953) en la Cordillera Vidal, desde el Seno Skyring hasta el Río Rubens. A unos 20 km hacia el NE de la Ciudad de Natales, Cortés (1954) puso en evidencia una serie conglomerática (Formación Laurita) que se pone encima de la Formación Río Turbio Carbonosa, probablemente correspondiente ésta a la Formación Loreto; el espesor mínimo de la Formación Laurita, hasta el límite Chile-Argentina, es de 560 m; ha sido correlacionada con la Formación El Salto.[...]”*

Por lo que, en base a las sucesivas correlaciones de estos autores, la Formación Las Flores habría sido equivalente tanto a la Formación Laurita de Cortés (1954) como a la Formación El Salto de González y Tapia (1952b), ambas unidades extraídas de trabajos inéditos.

Tras un hiato considerable en la investigación de estas unidades litoestratigráficas, Hervé *et al.* (2004) publican una edad U-Pb en zircones detríticos de  $21.8 \pm 1.5$ Ma en un promedio de 36 granos, proveniente de la Formación El Salto. Este dato respaldaría la sugerencia original de asignar la formación al Mioceno inferior.

# Capítulo 4

## Resultados

La sección tipo asignada a la Formación Las Flores se ubica 1 km al noroeste del puesto homónimo. Corresponde a un paredón rocoso de la ladera oriental del chorrillo Las Flores, en el curso medio del mismo (Figura 4.1). La ladera occidental se encuentra completamente cubierta por depósitos glaciofluviales cuaternarios (Figura 4.2). El acceso al lugar de estudio es moderadamente simple y expedito. Los afloramientos que rodean el curso inferior del chorrillo Las Flores son asignables a la Formación Man Aike, dada su similitud con otras localidades características de esta unidad en el valle del río Baguales.

Desde el valle en donde se encuentra el puesto hasta la base del afloramiento hay aproximadamente 150 m de desnivel, en un relieve suave dominado por la vegetación arbustiva baja de la estepa patagónica. Las morfologías preponderantes en ambas laderas del valle son exclusivamente glaciales, con depósitos morrénicos abundantes de norte a sur. Entre las morfologías secundarias más recurrentes se encuentran depresiones producidas por remociones en masa de decenas a centenas de metros, y una cicatriz de remoción de casi 800 m de diámetro en el tope de la ladera occidental, que deja expuestos importantes afloramientos de la Formación Río Leona. Este lugar ha sido denominado “Anfiteatro de las Araucarias” (Torres *et al.*, 2013) debido a fósiles con la posibilidad de pertenecer a este género (Figura 4.3).

Aproximadamente 2.3 km chorrillo arriba y por sobre la cota del “Anfiteatro”, se reconoció un afloramiento indiscutible de la Formación Estancia 25 de Mayo, debido a la asociación abundante de invertebrados marinos fósiles y la notable conformación de arrecifes de *Ostrea? hatcheri* en areniscas finas a medias (Figura 4.4).

El estratotipo de la Formación Las Flores se encuentra expuesto gracias a la importante incisión fluvial del chorrillo Las Flores, que mantiene un curso noroeste-sureste por unos 4.5 km antes de unirse al río Baguales. Sin embargo, la erosión no permitió una exposición lateral muy amplia, dejando sólo unos 100 m de roca a lo largo del curso de agua.

El afloramiento presentó una disposición subhorizontal con un manto general 11°NE. La roca expuesta tiene una pendiente moderada en la base ( $\sim 30^\circ$ ), pero en la sección media la misma aumenta considerablemente ( $\sim 70 - 85^\circ$ ). Tras una cornisa natural dada por la erosión y el desmembramiento de grandes bloques rocosos, la sección superior vuelve a tener



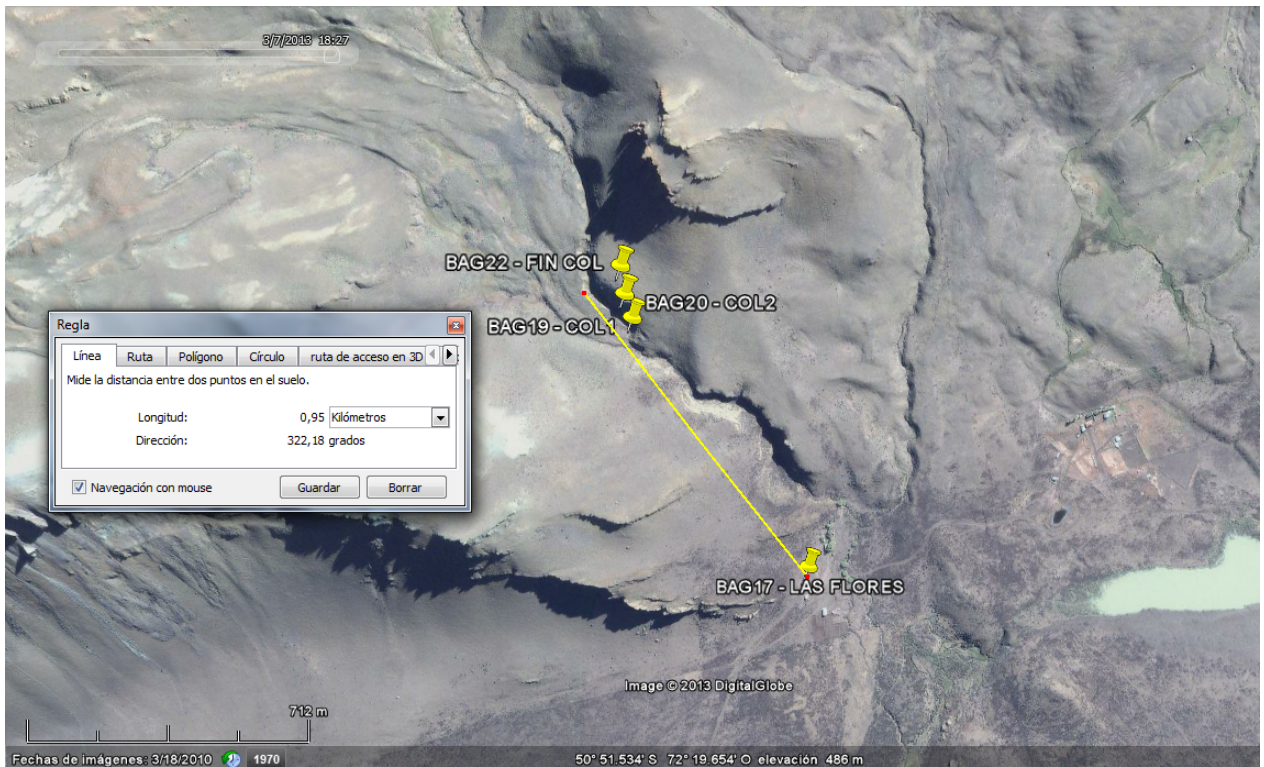


Figura 4.1: Ubicación del estratotipo de la Formación Las Flores. El punto inicial del trazo señalado corresponde al puesto Las Flores. El punto final corresponde al afloramiento en cuestión. Los puntos BAG19 y BAG22 representan, en planta, el inicio y término de la sección estratigráfica realizada.



Figura 4.2: Vista al norte del estratotipo de la Formación Las Flores. Se puede distinguir la interrupción del afloramiento bajo la cobertura cuaternaria, así como la estrecha incisión del chorrillo.





Figura 4.3: Vista al “Anfiteatro de las Araucarias“, en la ladera occidental del curso superior del chorrillo Las Flores.





Figura 4.4: Afloramiento de arenisca fosilífera con gran contenido de *Ostrea? hatcheri* conformando un biostroma monoespecífico. Formación Estancia 25 de Mayo.

una pendiente moderada ( $\sim 30^\circ$ ). Una segunda cornisa delimita el techo de la roca con la cobertura cuaternaria. Tras unos 40 m de desnivel resalta un filón basáltico que corta la exposición de rocas sedimentarias.

## 4.1. Columna estratigráfica

El perfil resultante del afloramiento está dominado fundamentalmente por areniscas de granulometría variable, entre muy finas a gruesas. Se optó por iniciar la columna desde el chorrillo, dada la posibilidad de observar roca fresca labrada con menor dificultad. En distintos niveles las intercalaciones con limolitas son recurrentes. Los colores de exposición caracterizan bastante bien los diversos paquetes sedimentarios, con una base de tonos azulados a amarillentos, niveles medios en tonos verdosos pálidos a grisáceos claros y niveles superiores azules a verdosos claros. El grado de preservación en algunas capas basales no es de gran calidad, en parte por la pendiente y en parte por la posible susceptibilidad a la erosión por crecidas del chorrillo (Figura 4.5). Cabe destacar que el contenido fosilífero solo se hace presente entre los 7 m y los 49 m de la columna, conformado por trazas fósiles, restos vegetales y de invertebrados (Figuras 4.6, 4.7).

La potencia de la columna estratigráfica realizada totaliza 56.8 m.

La exposición de rocas continuaba tras el punto de inicio, chorrillo abajo, mas con una pobre a mala calidad además de un muy difícil acceso.

### 4.1.1. Sub-unidades litoestratigráficas

Los niveles presentaron tonalidades con fuertes contrastes, además de considerables diferencias en dureza y granulometría. La columna estratigráfica quedó compuesta por seis tramos bien caracterizados como sub-unidades. El criterio principal para elaborar estas sub-unidades fue litológico, con una delimitación por contactos de gran contraste granulométrico en la mayoría de los casos. Las seis sub-unidades se describen en detalle a continuación:

**Sub-unidad A.** Limolitas y areniscas finas a medias basales, mal preservadas y con numerosos acarreo de hasta 2 m de alto (Figura 4.8, a). Presentaba estratos de granulometría muy fina -tamaño limo- en la base, tonos azulados a amarillo pálido y depósitos homogéneos macizos. La sub-unidad culmina con una limolita grisácea oxidada [0 - 6.5 m] (Figura 4.8, b).

**Sub-unidad B.** Areniscas medias con estratificación cruzada planar de bajo ángulo y bioturbación alta a media, principalmente trazas fósiles verticales (Figura 4.9, a-b). Hacia el techo las capas se tornan más finas, terminado con láminas de limolitas gris oscuro, también bioturbadas (Figura 4.9, c-d) [6.5 - 13 m].

**Sub-unidad C.** Areniscas muy finas a medias con tonalidades rojizas, altamente bioturbadas (Figura 4.11). Las trazas fósiles más comunes son horizontales (Figura 4.10, c) y



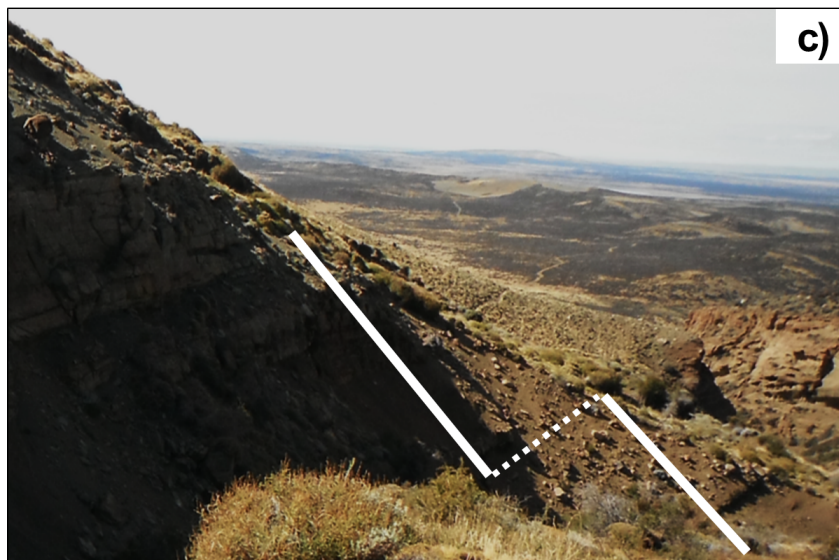
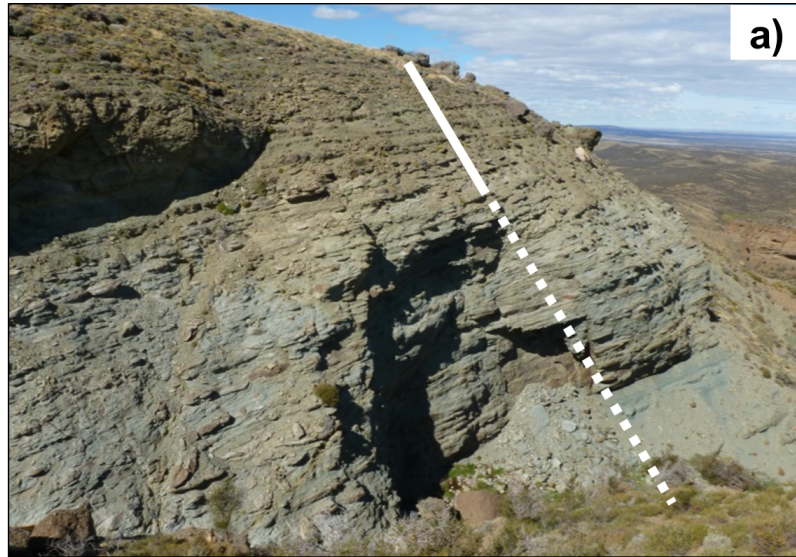


Figura 4.5: Trazados de la columna estratigráfica de la Formación Las Flores. Los trazos blancos muestran la zona por donde se realizó la descripción geológica del afloramiento. (a) Sección superior. (b) Sección media. c) Sección basal.

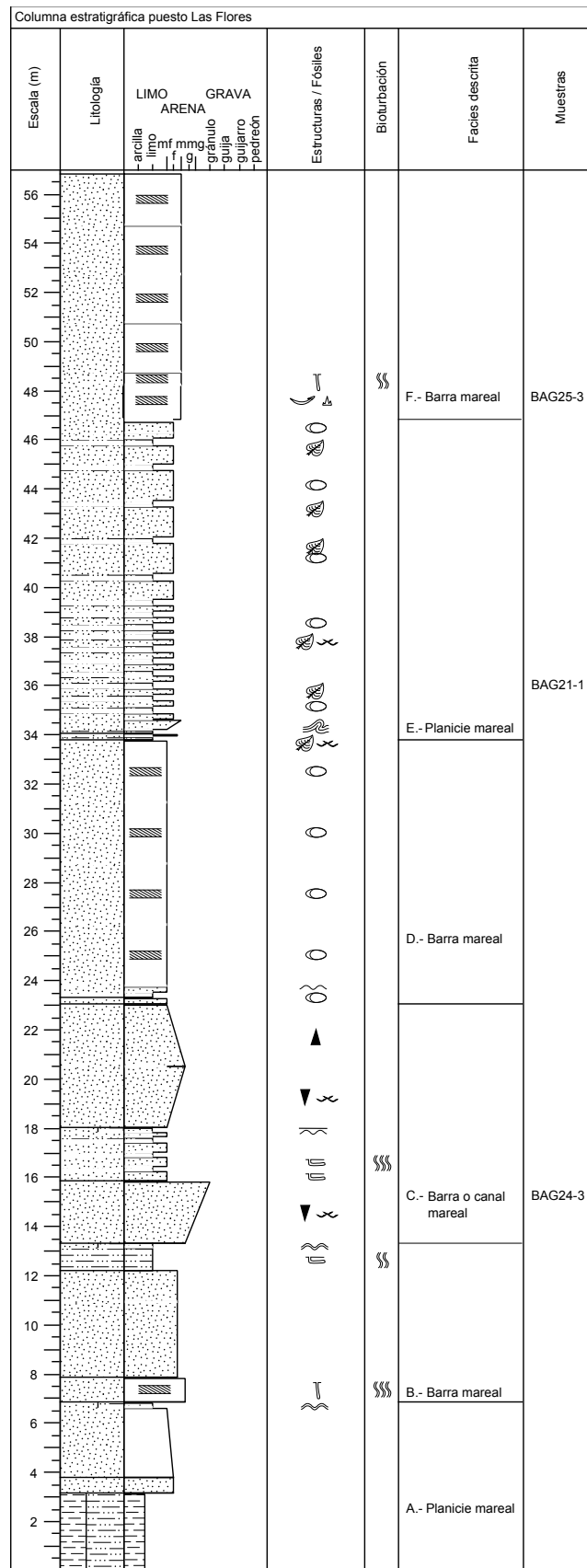


Figura 4.6: Columna estratigráfica del estratotipo de la Formación Las Flores, desarrollada en el presente trabajo.



















| Litologías   | Estructuras sedimentarias  | Fósiles   |
|--|--|---|
|  Lutita   |  Ondulitas                      |  Improntas foliares           |
|  Limolita |  Estratificación cruzada planar |  Bivalvos                     |
|  Arenisca |  Gradación normal               |  Dientes de tiburón           |
| <b>Contactos</b>   |  Gradación inversa             |  Bioturbaciones horizontales |
| ----- Gradacional  |  Calcos de carga              |  Bioturbaciones verticales  |
| ————— Concordante  |  Laminación convoluta         |  Intensa bioturbación       |
|  |  Platillos                    |  Moderada bioturbación      |
|  |  Concreciones                 |   |

Figura 4.7: Simbología en detalle de la columna estratigráfica detallada en la figura 4.6.

dominan sucesivas intercalaciones entre niveles preponderantes de arenisca y limolita subordinada en capas centimétricas (Figura 4.10, d), con acotados platillos de limolita de 2-3 mm de grosor y hasta 8 cm de largo (Figura 4.10, e). Los estratos continúan luego con un dominio arenoso macizo, pero muestran una tendencia menor de gradación inversa y luego normal, en aproximadamente 4.55 m de espesor [13 - 23 m].

**Sub-unidad D.** Areniscas verdosas muy finas en la base, macizas, con estratificación cruzada planar de alto ángulo (Figura 4.12, a-b-c), intercaladas con láminas milimétricas de limolita gris claro. Hacia el techo las areniscas se tornan azules, carbonatadas, conteniendo concreciones rojo oscuro también carbonatadas, de hasta 1 m de diámetro (Figura 4.12, d-e). Este nivel macizo no presenta contenido fosilífero, a diferencia de las unidades subyacentes y suprayacentes [23 - 33.7 m].

**Sub-unidad E.** Areniscas medias amarillas y limolitas grisáceas con patrón de sucesivas intercalaciones, predominantemente planares, en capas centimétricas de arenisca y láminas de limolita menores a 3 cm (Figura 4.13, a-b-c-d-e). Estas últimas con abundante contenido de improntas foliares café claro a oscuro, mal preservadas (Figura 4.13, f), y concreciones calcáreas rojizas a gris claro de hasta 20 cm de diámetro. Algunas capas de limolita presentan patrones convolutos en vueltas de 2-3 cm de diámetro. Las intercalaciones disminuyen hacia el techo, en conjunto con un aumento considerable del espesor de los niveles de areniscas [33.7 - 46.5 m].

**Sub-unidad F.** Areniscas medias amarillo claro (Figura 4.14, a-b). En los primeros 2 m se encontraron abundantes moldes de bivalvos -internos, externos y compuestos- (Figura 4.14, c-d), escasos dientes de tiburón fragmentarios (Figura 4.14, e), bioturbación en mediana abundancia (Figuras 4.15, 4.16) y estratificación cruzada planar de ángulo medio. Los siguientes 8.3 m no presentan contenido fosilífero [46.5 - 56.8 m].

El techo termina abruptamente bajo la cobertura cuaternaria y el suelo actual. Al rodear el afloramiento principal, chorrillo arriba, se puede distinguir el contacto discordante entre el filón basáltico y las rocas sedimentarias expuestas (Figura 4.17).

A lo largo de la columna estratigráfica se colectaron tres muestras de roca con el propósito de realizar dataciones directas empleando circones detríticos. Las muestras fueron codificadas como: BAG24-3, en la sub-unidad C; BAG21-1, en la base de la sub-unidad E; y BAG25-3, en la base de la sub-unidad F. Su descripción se detalla en las secciones 4.1.3 y 4.1.5.

## 4.1.2. Contenido fosilífero

A lo largo de la columna estratigráfica se reconocen tres tipos de fósiles, los cuales se pueden agrupar en:

1. Trazas fósiles de organismos infaunales
2. Restos vegetales
3. Moldes y restos de macrofauna marina

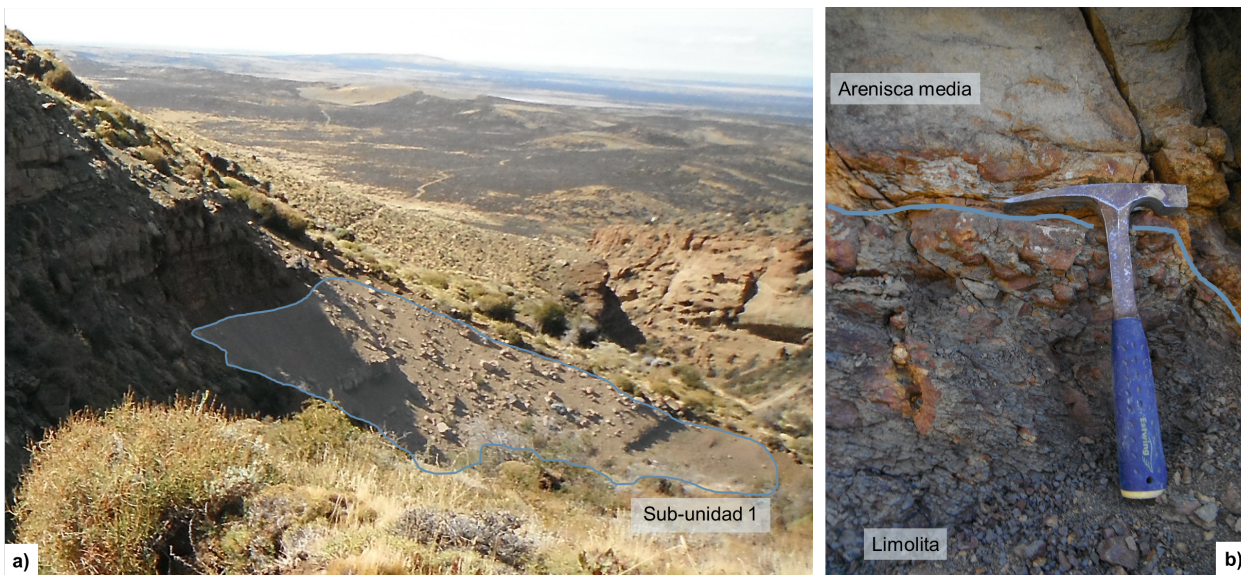


Figura 4.8: Características principales de la sub-unidad A. (a) Vista del afloramiento hacia el sureste. El polígono celeste encierra la serie sedimentaria, donde se destacan los coluvios que dificultan su exposición. (b) Contacto abrupto oxidado entre limolita grisácea del techo y arenisca basal de la sub-unidad B.

Las trazas fósiles varían tanto en abundancia relativa como en forma. Los patrones más comunes, tanto en las ocurrencias basales como en las próximas al techo, corresponden a: morfologías tubulares rectilíneas, verticales, mayores a 5 cm de largo; morfologías tubulares irregulares, sinuosas, con bifurcaciones sucesivas, en algunos casos excepcionales de hasta 50 cm de largo (Figuras 4.9; 4.11-c; 4.11; 4.15; 4.16). Tentativamente y principalmente en base a la comparación con literatura (e.g. Pearson *et al.*, 2012; Desjardins *et al.*, 2012; Pearson *et al.*, 2013), se sugiere la presencia de las icnoespecies *Thalassinoides suevicus* y *Ophiomorpha nodosa*, y de los icnogéneros *Skolithos* isp. y *Spongiomorpha* isp. Esta asociación de icnogéneros es coherente con la icnofacies *Skolithos*.

Los restos vegetales, presentes en las limolitas y areniscas finas de la sub-unidad E, se registraron como improntas foliares de mala preservación. Los pocos elementos diagnósticos de la morfología foliar permiten reconocer al género *Nothofagus* (Figura 4.13-f).

Los macrofósiles marinos corresponden a invertebrados preservados como moldes internos, externos y compuestos. Si bien estos se preservaron con bastante detalle, la ausencia de conchilla dificulta su identificación preliminar (Figura 4.14-c,d). Tentativamente se sugiere que corresponderían mayormente a la especie *Modiomutilus mercerati* Griffin (1990), en base a la forma alargada de los moldes, la preservación de costillas y comparación posterior con literatura de los niveles basales de la Formación Río Turbio (Griffin, 1990; Genta-Iturreria *et al.*, 2011). Por su parte, en el caso de los dientes de tiburones, dado lo fragmentario del material no pudieron ser determinados en profundidad, debido a que los elementos colectados no preservaron las raíces y cúspides secundarias, caracteres diagnósticos para este tipo de resto (Figura 4.14-e).





Figura 4.9: Características principales de la sub-unidad B. (a) *Ophiomorpha nodosa* en arenisca media a gruesa basal. (b) *Skolithos* isp. en arenisca media oxidada. (c) Contacto abrupto del techo entre limolitas grisáceas oxidadas con bioturbaciones oblicuas -líneas punteadas rojas- y areniscas finas macizas basales de la sub-unidad C. (d) Vista lateral del contacto del techo.



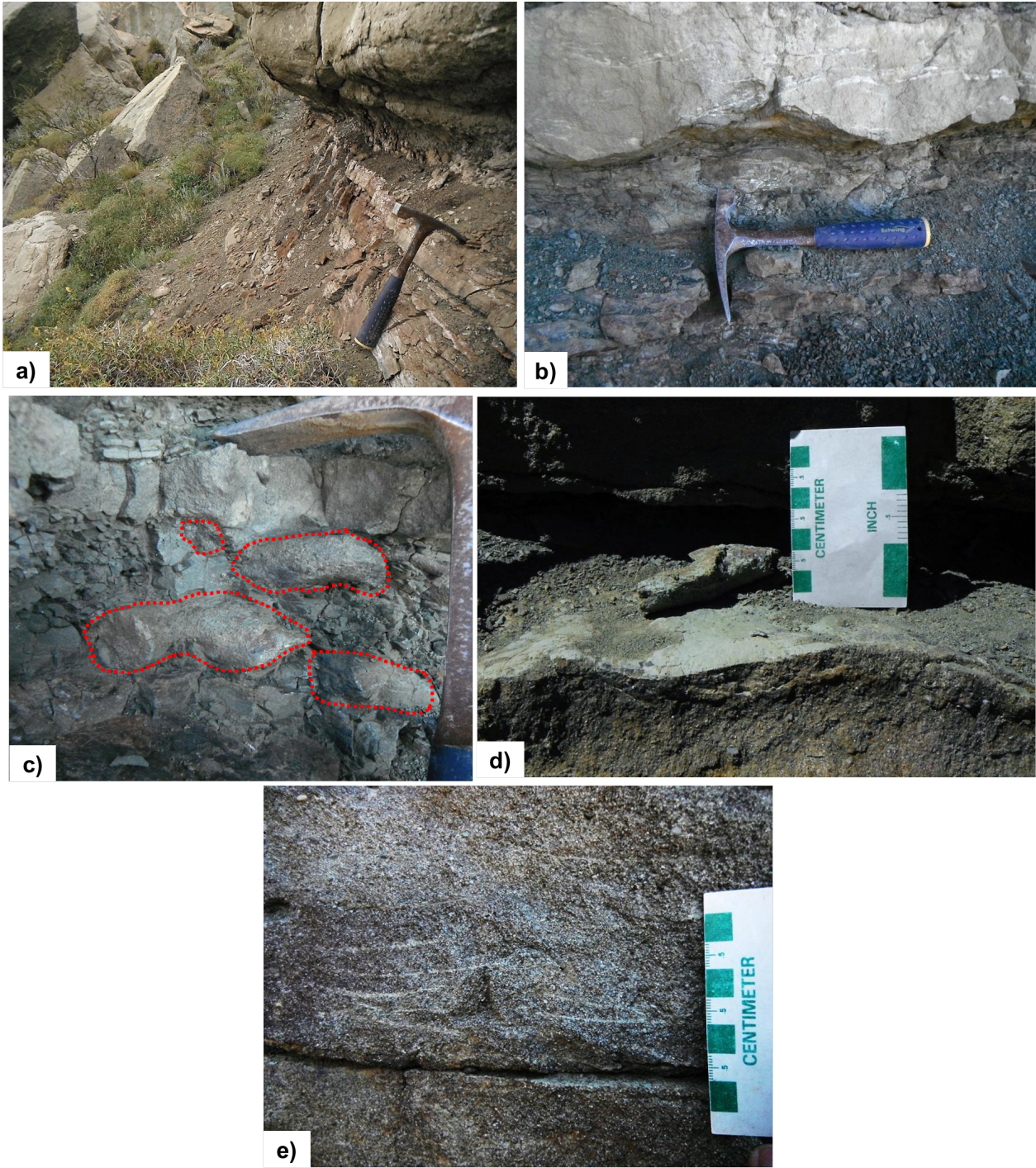


Figura 4.10: Características principales de la sub-unidad C. (a) Vista hacia el noreste del afloramiento, en la base del nivel. (b) Calcos de carga -formas sinuosas- con estructuras en llamas -limolita blanquecina en arenisca maciza-. (c) Bioturbaciones sub-horizontales en limolitas mal preservadas, zona media de la sub-unidad. (d) Ondulitas en limolita blanca dentro de arenisca maciza. (e) Estructuras de platillos en arenisca media.



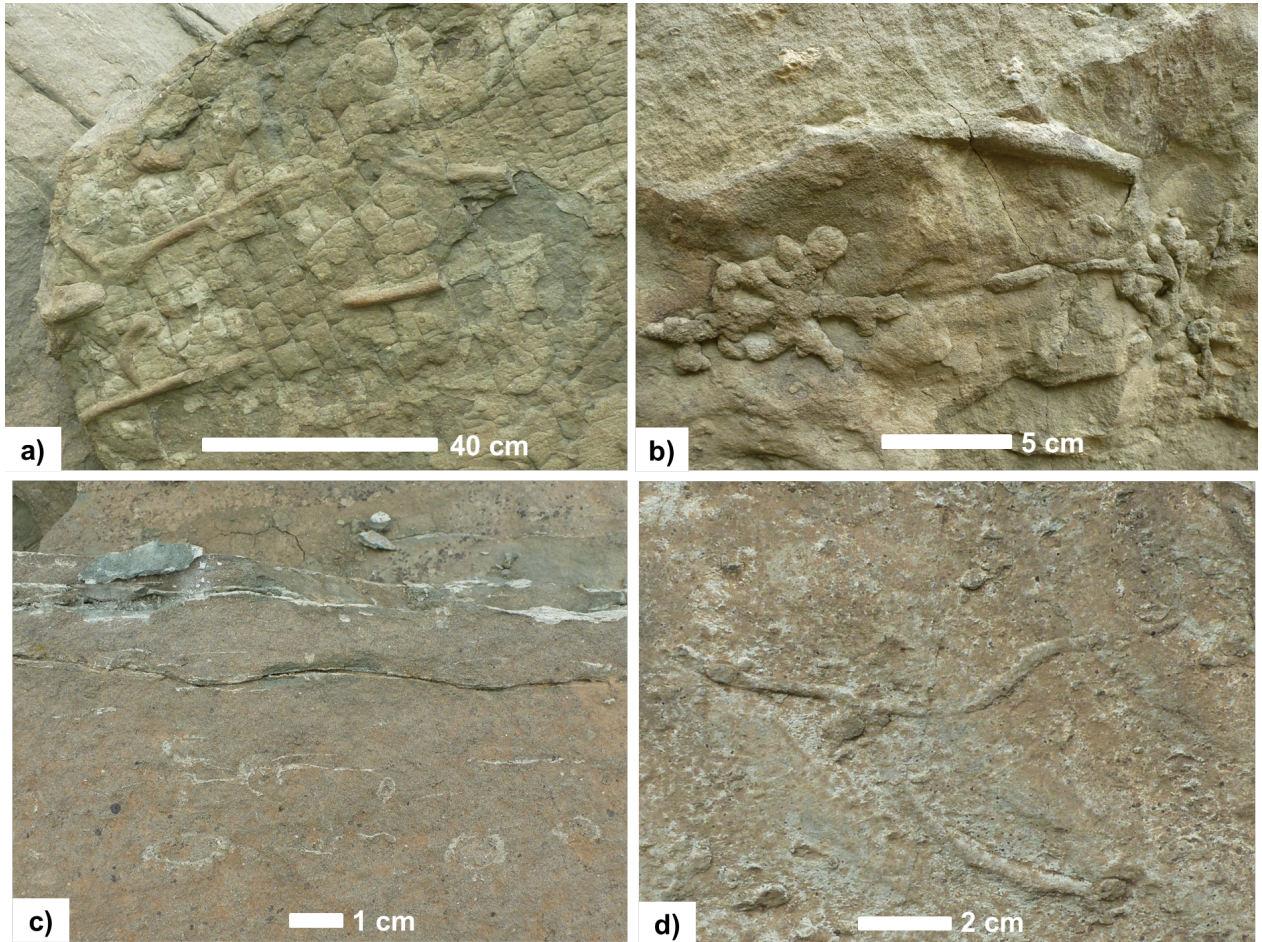


Figura 4.11: Principales bioturbaciones en niveles arenosos de la sub-unidad C. (a) *Thalassinoides suevicus* subhorizontales, decimétricos. (b) *Ophomorpha?* isp., subhorizontal, aglutinada. (c) *Ophomorpha nodosa* en sección transversal. (d) *Spongiomorpha* isp. en disposición oblicua.



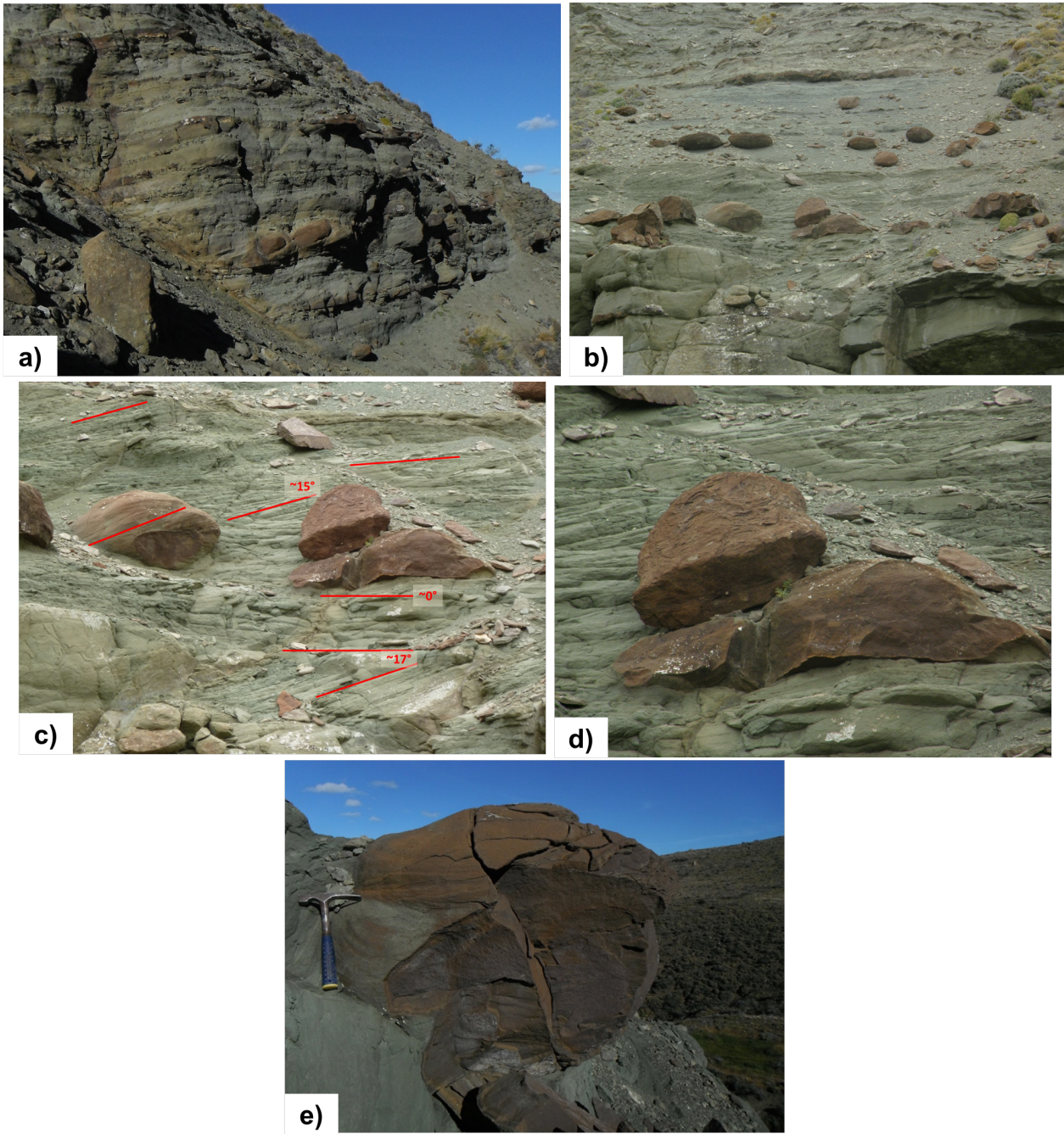


Figura 4.12: Características principales de la sub-unidad D. (a) Vista hacia el sureste de los niveles correspondientes a la sub-unidad D. (b) Sucesivas concreciones rojizas en areniscas grisáceas, en mesoescala. (c) Estratificación cruzada planar de alto ángulo. (d) Concreciones calcáreas rojizas, tabulares. (e) Concreciones calcáreas rojizas, esferoidales.



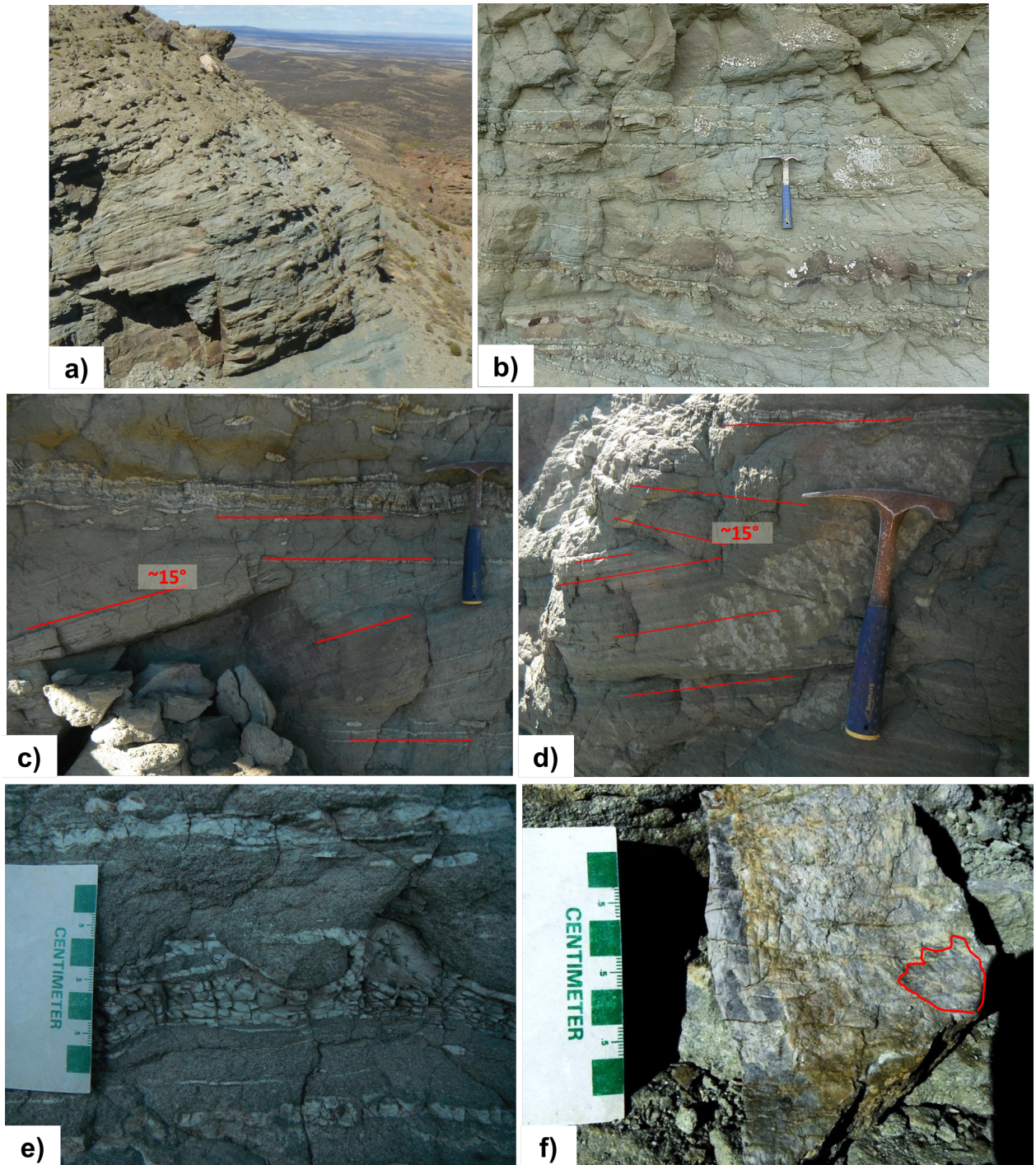


Figura 4.13: Características principales de la sub-unidad E. (a) Vista hacia el sureste de los niveles correspondientes a la sub-unidad E. (b) Sucesivas intercalaciones delgadas de limolita blanquecina en arenisca. Las concreciones calcáreas rojizas son bastante más pequeñas respecto a la sub-unidad D. (c, d) Estratificación cruzada planar de alto ángulo. (e) Detalle de las intercalaciones de limolita en arenisca. Se destaca un patrón recumbente con engolfamientos de limolita. (f) Improntas foliares de *Nothofagus* sp. en la limolita subordinada. Los restos son difíciles de identificar, dada su preservación.



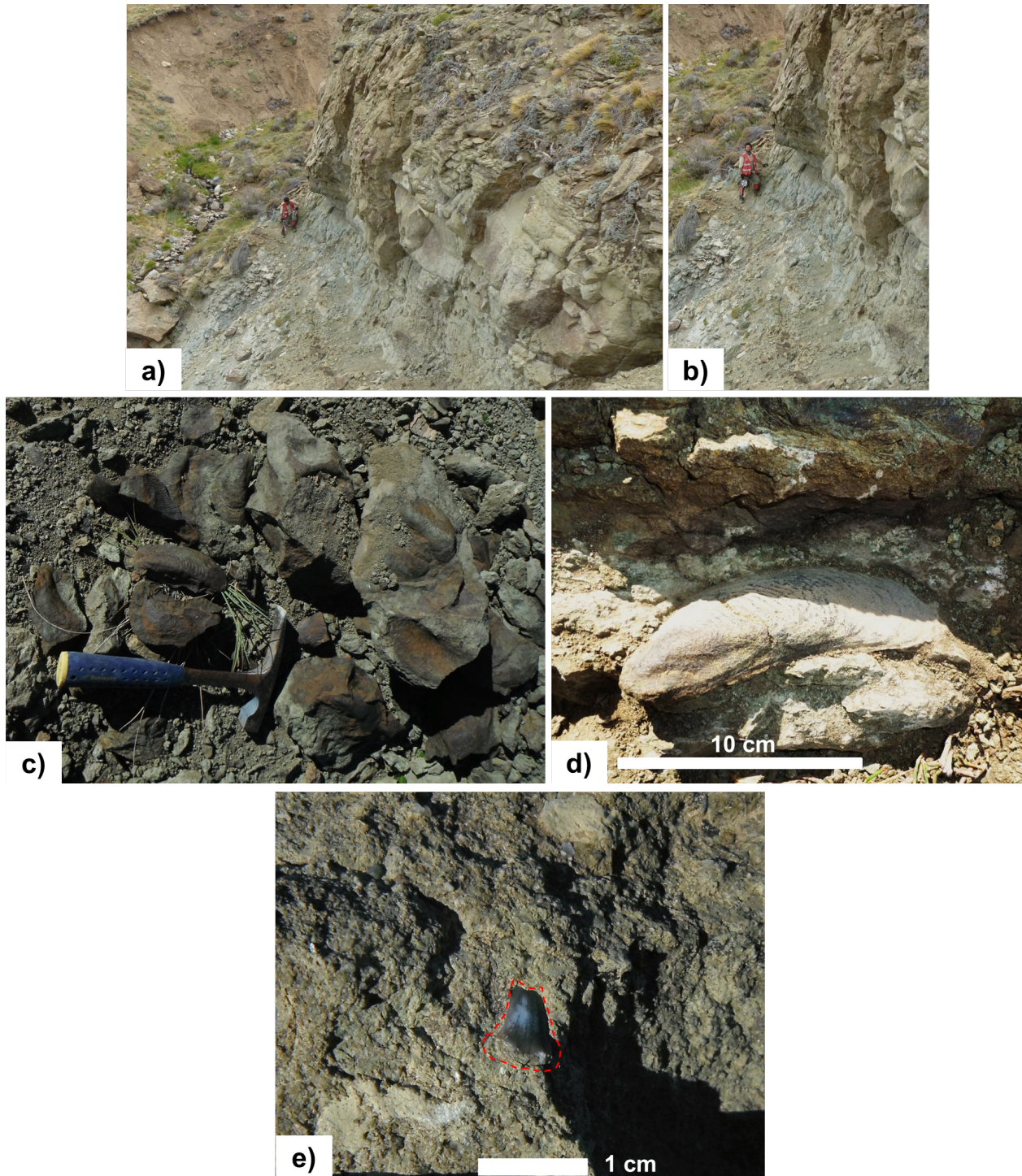


Figura 4.14: Características principales de la sub-unidad F. (a-b) Vista hacia el noroeste del afloramiento, en la base del nivel. Persona de escala. (c-d) Moldes externos y compuestos de *Modiomutilus mercerati*, en los 2 m basales. (e) Diente de tiburón fragmentario -líneas segmentadas rojas-, en arenisca media.



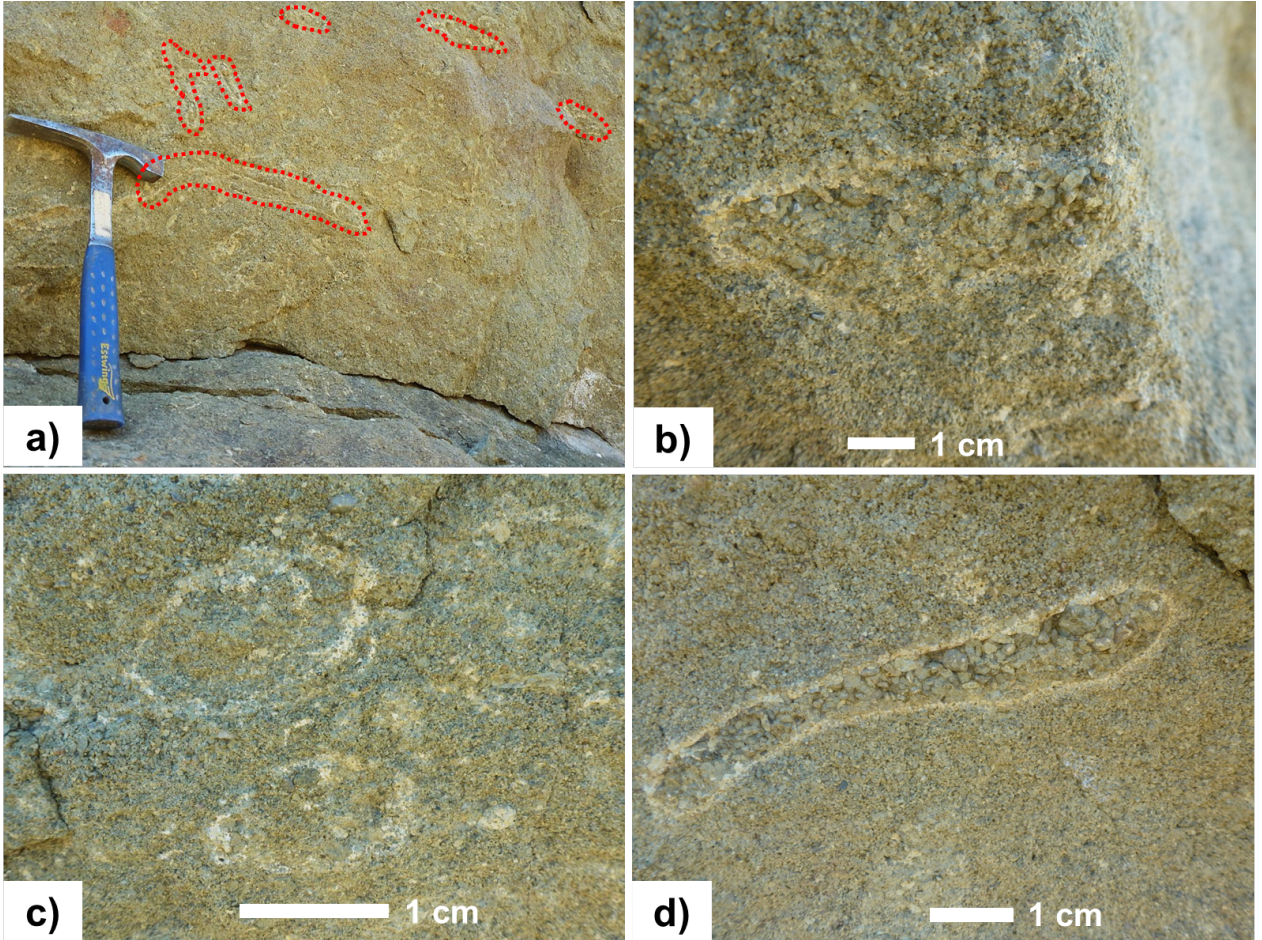


Figura 4.15: *Ophiomorpha nodosa* en areniscas de sub-unidad F. (a) Abundante ocurrencia en diversos tamaños, a mesoescala. (b) Sección oblicua de un ejemplar. Se observa una pared de limo claro y un relleno más grueso -arena gruesa- que la roca circundante -arenisca media-. (c) Secciones transversales. (d) Sección longitudinal.



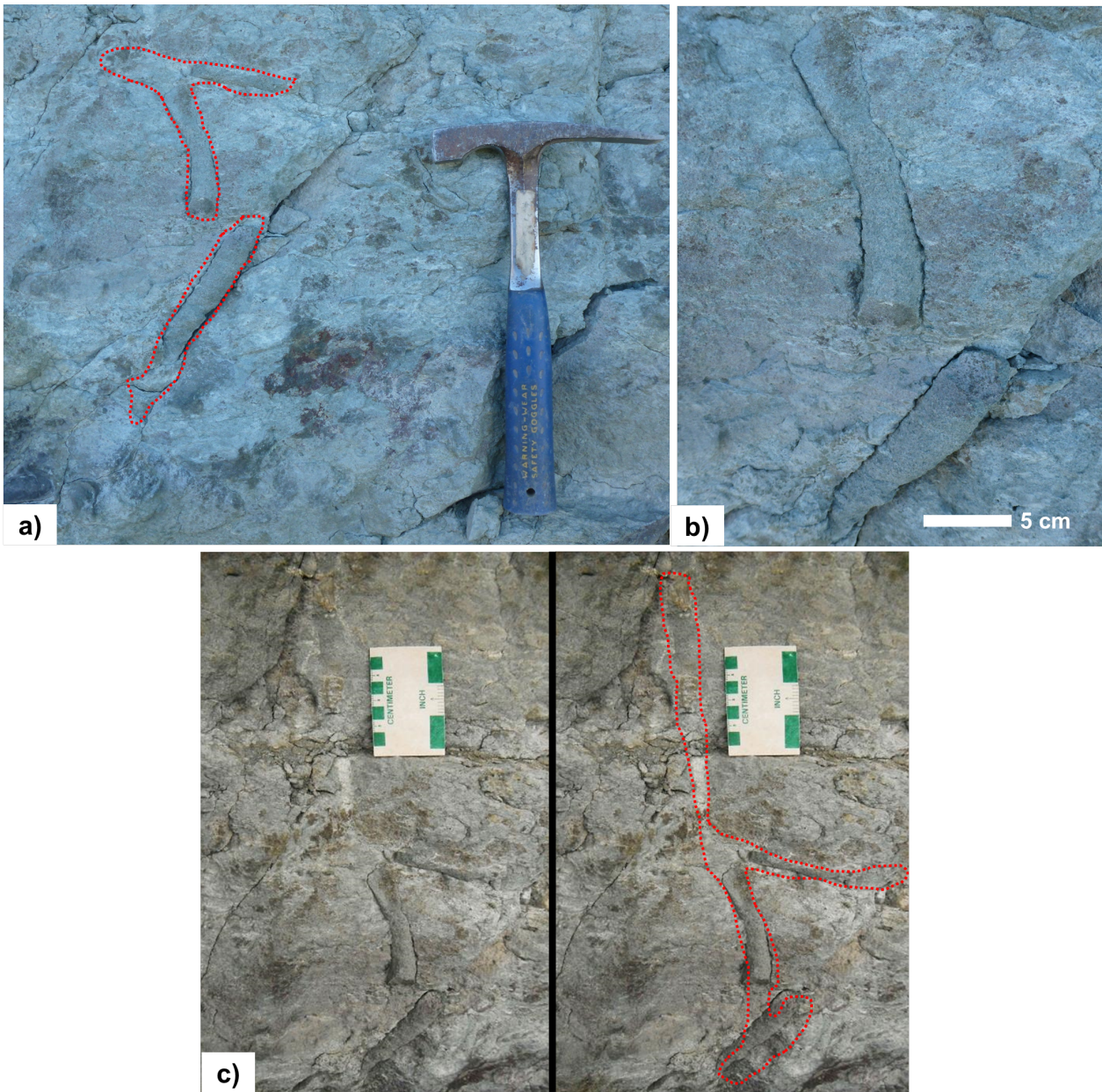


Figura 4.16: *Thalassinoides suevicus* en areniscas de sub-unidad F. (a-b) Ejemplares sub-verticales a oblicuos. (c) Ejemplar sub-vertical largo con divergencia hacia la base -líneas segmentadas rojas-



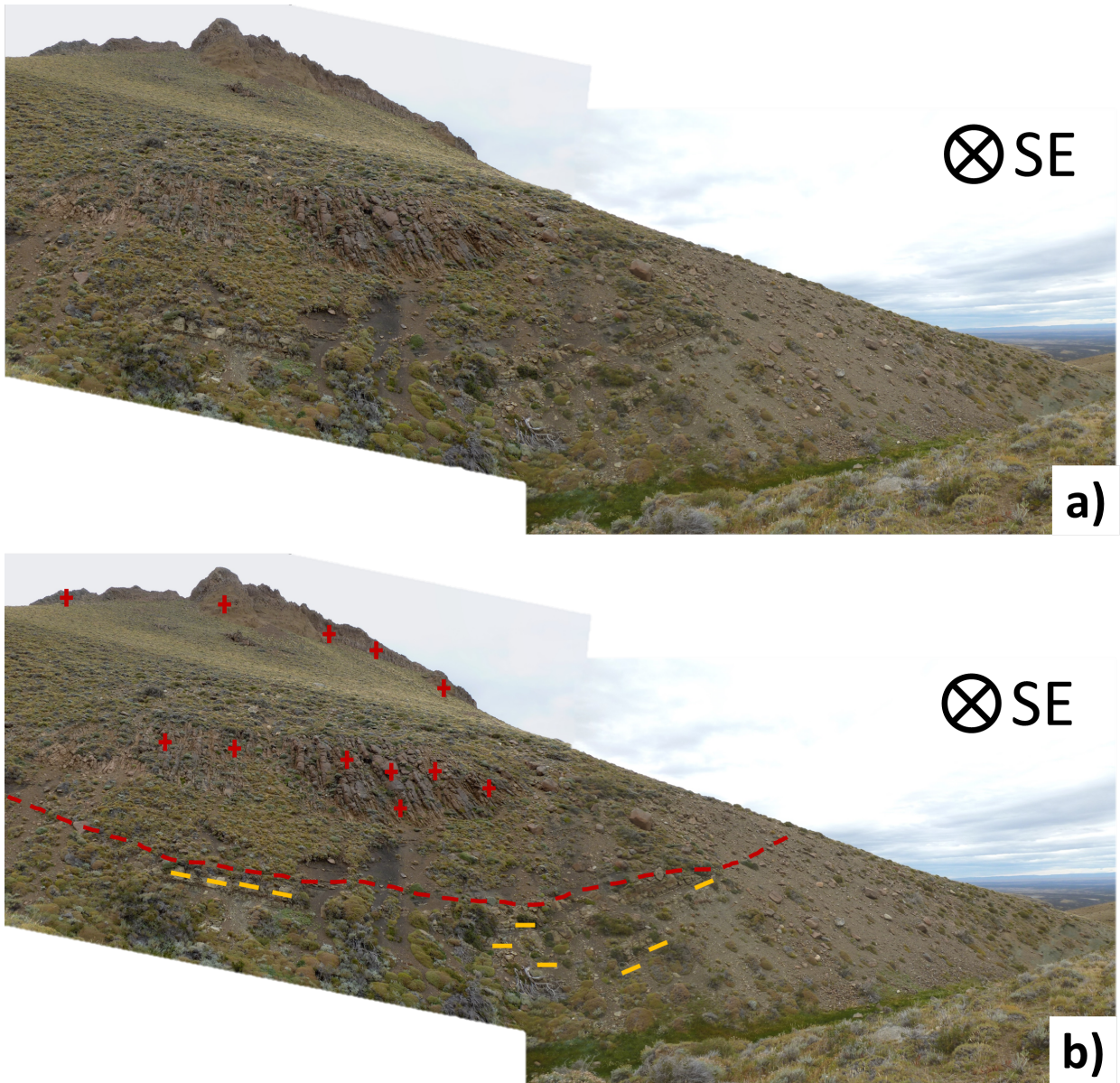


Figura 4.17: Contacto entre el filón basáltico y el techo de la serie sedimentaria expuesta. (a) Vista al sureste del afloramiento, chorrillo arriba. (b) Esquema indicando el contacto del filón -líneas segmentadas rojas-, el cuerpo intrusivo -cruces rojas- y el techo de la serie sedimentaria descrita -líneas amarillas aisladas-.

### 4.1.3. Petrografía

En el Taller de Cortes del Departamento de Geología de la Universidad de Chile se realizaron cortes transparentes de las tres muestras de roca extraídas, que se detallan en las tablas 4.1, 4.2 y 4.3.

La petrografía es coherente con las descripciones en mesoescala, evidenciando rocas siliciclásticas con una granulometría tamaño arena preponderante y con aportes considerables de líticos volcánicos y sedimentarios. En menor medida se encontraron líticos ígneos y metamórficos. La presencia de cemento poikilotópico arcilloso en las muestras BAG-21-1 y BAG-25-3 sugieren una proximidad a la zona freática profunda. Sin embargo, la muestra BAG-24-3, más baja en la columna estratigráfica, no parece evidenciar este tipo de textura. Fuera de cemento pelicular, atribuible a óxidos de hierro, no se observaron otras texturas bien desarrolladas en los cementos. Cabe destacar que la sistemática de muestreo abarcó sólo tres niveles de la sucesión sedimentaria, por lo cual los datos petrográficos se consideran insuficientes para aportar mayores implicancias en el análisis general de la unidad.



Tabla 4.2: Petrografía sedimentaria de la muestra BAG24-3

| Descripción petrográfica        |                    |                       |                              |                              |                    |                        |
|---------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|
| <b>Componentes cristalinos</b>  |                    |                       |                              |                              |                    |                        |
| Mineral                         | Tamaño cristales   | Unidad                | Redondeamiento               | Porcentaje relativo (%)      | Contactos          | Forma Cxx              |
| Qz_m (ígneo)                    | 0.1 - 1            | mm                    | Subanguloso                  | 28                           | Rectos y suturados | Subeuhedrales          |
| Fd-K                            | -                  | -                     | -                            | 0                            | -                  | -                      |
| Fd-Plg                          | 0.2 - 1            | mm                    | Angulosos                    | 15                           | Rectos             | Euhedrales/subhedrales |
| Anf                             | 0.05-0.1           | mm                    | Anguloso                     | 1                            | Rectos, acicular   | Euhedrales/subhedrales |
| Cpx                             | 0.2                | mm                    | Subredondeados               | <1                           | Rectos             | Anhedrales             |
| opacos                          | 0.2-0.4            | mm                    | Subredondeados               | 5                            | Rectos             | -                      |
| <b>Líticos</b>                  |                    |                       |                              |                              |                    |                        |
| Mt                              | 0.5                | mm                    | Redondeados                  | 1                            |                    |                        |
| Sd                              | 0.5-1              | mm                    | Redondeados                  | 10                           |                    |                        |
| Ig                              | 0.5-1              | mm                    | Redondeados                  | 10                           |                    |                        |
| Vlc                             | 0.5-1              | mm                    | Redondeados                  | 5                            |                    |                        |
| <b>Chert</b>                    | 0.2-1              | mm                    | Redondeados                  | 10                           |                    |                        |
| <b>Matriz</b>                   | Unidad             |                       |                              |                              |                    |                        |
| Tamaño relativo                 | mm                 |                       |                              | Relación esqueleto/pasta (%) |                    |                        |
| <0.1                            |                    | Σ                     | Composición                  | 15                           |                    |                        |
|                                 |                    |                       | Arenosa                      |                              |                    |                        |
|                                 |                    |                       | 100                          |                              |                    |                        |
| <b>Cemento</b>                  |                    |                       |                              |                              |                    |                        |
| Composición                     | Tipo               |                       |                              |                              |                    |                        |
| Arcilloso (Sericífico)          | Pelicular, mosaico |                       |                              |                              |                    |                        |
| <b>Grado de madurez</b>         |                    |                       |                              |                              |                    |                        |
| Madurez química                 |                    | Madurez composicional |                              |                              |                    |                        |
| Media                           |                    | Mala                  |                              |                              |                    |                        |
| <b>Otras observaciones</b>      |                    |                       |                              |                              |                    |                        |
| Estructuras                     |                    |                       | Porosidad                    |                              |                    |                        |
| -                               |                    |                       | Baja                         |                              |                    |                        |
|                                 |                    |                       | Metamorfismo/Alt.            |                              |                    |                        |
|                                 |                    |                       | Alteración a Ser en Qz y Plg |                              |                    |                        |
| <b>Clasificación de la roca</b> |                    |                       |                              |                              |                    |                        |
| Roca arenácea                   |                    |                       |                              |                              | Código muestra     | BAG-24-3               |
| Litarenita                      |                    |                       |                              |                              | Fecha extracción   | 04-03-2013             |

Tabla 4.3: Petrografía sedimentaria de la muestra BAG25-3

|  |                         | Descripción petrográfica |                |                              |                    |             |
|--|-------------------------|--------------------------|----------------|------------------------------|--------------------|-------------|
| <b>Componentes cristalinos</b>         |                         |                          |                |                              |                    |             |
| Mineral                                | Tamaño cristales        | Unidad                   | Redondeamiento | Porcentaje relativo (%)      | Contactos          | Forma Cxx   |
| Qz_m                                   | 0.2-0.8                 | mm                       | Subangulosos   | 10                           | Rectos y suturados | Anhedrales  |
| Fd-K                                   | -                       | mm                       | -              | 0                            | -                  | -           |
| Fd-Plg                                 | 0.1-1.2                 |                          | Angulosos      | 20                           | Rectos             | Subhedrales |
| Anf                                    | 0.2                     |                          | Subredondeados | <1                           | Suaves             | Anhedrales  |
| Chl                                    | 0.4                     | mm                       | Redondeados    | <1                           | Suaves             | Anhedrales  |
| opacos                                 | 0.1                     | mm                       | Redondeados    | <1                           | Suaves             | Anhedrales  |
| <b>Líticos</b>                         |                         |                          |                |                              |                    |             |
| Mt                                     | -                       | mm                       | -              | -                            | -                  | -           |
| Sd                                     | 0,4-0,5                 | mm                       | Redondeados    | 4                            |                    |             |
| Ig                                     | 0.5                     | mm                       | Redondeados    | 1                            |                    |             |
| Vlc                                    | 0.2                     | mm                       | Redondeados    | <1                           |                    |             |
| <b>Chert</b>                           | 0,2-1                   | mm                       | Redondeados    | 5                            |                    |             |
| <b>Matriz</b>                          |                         |                          |                |                              |                    |             |
| Tamaño relativo                        | Unidad                  |                          | Composición    | Relación esqueleto/pasta (%) |                    |             |
| <0.1                                   | mm                      |                          | Arcillosa      | 60                           |                    |             |
|  | mm                      | $\Sigma$                 | 100            |                              |                    |             |
| <b>Cemento</b>                         |                         |                          |                |                              |                    |             |
| Composición                            | Tipo                    |                          |                |                              |                    |             |
| Arcilloso                              | Mosaico y poikilotópico |                          |                |                              |                    |             |
| Oxidos                                 | Pelicular               |                          |                |                              |                    |             |
| <b>Grado de madurez</b>                |                         |                          |                |                              |                    |             |
| Madurez química                        |                         | Madurez xomposicional    |                |                              |                    |             |
| Media                                  |                         | Media                    |                |                              |                    |             |
| <b>Otras observaciones</b>             |                         |                          |                |                              |                    |             |
| Estructuras                            |                         |                          | Porosidad      |                              |                    |             |
| Lente de arcillas en medio del corte.  |                         | Metamorfismo/Alt.        | Muy baja       |                              |                    |             |
| 1.5 cm de largo, 0.4 cm de ancho.      |                         | Alteración a Ser escasa, |                |                              |                    |             |
| Contiene algunos fragmentos terrigenos |                         | en bordes de los clastos |                |                              |                    |             |
| (Qz, Plg, Anf)                         |                         | y sobre los cxx de Plg.  |                |                              |                    |             |
| <b>Clasificación de la roca</b>        |                         |                          |                |                              |                    |             |
|  |                         |                          |                |                              | Código muestra     | BAG-25-3    |
|  |                         |                          |                |                              | Fecha extracción   | 04-03-2013  |
|  |                         |                          |                |                              |                    |             |

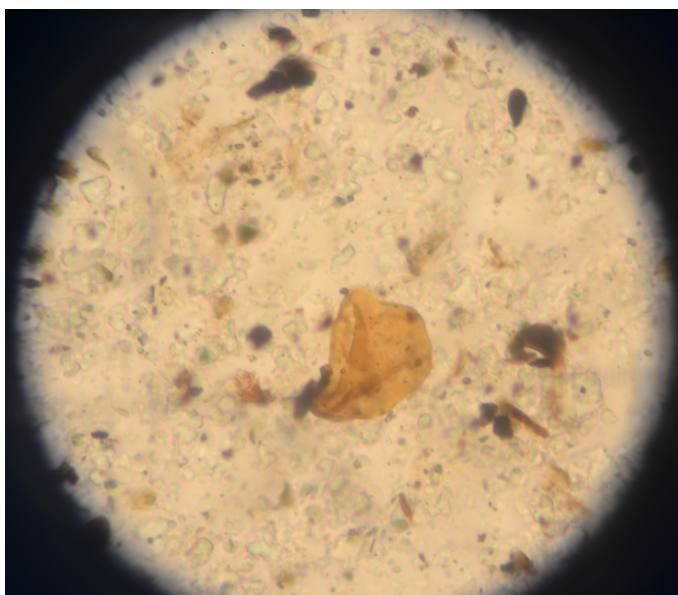


Figura 4.18: Fragmento polínico de la muestra BAG21-1. Se puede apreciar alrededor material residual silíceo y orgánico, asociado al proceso de preparación. La escasez de material bien preservado impidió realizar un estudio paleobotánico adecuado.

#### 4.1.4. Paleopalinología

Se realizaron preparados para polen fósil de las muestras BAG24-3 y BAG21-1, esta última portadora de improntas foliares, en el Laboratorio de Paleopalinología del Departamento de Geología de la Universidad de Concepción. Para cada muestra se realizaron seis montajes distintos. Sin embargo, estos últimos resultaron infructuosos y mostraron escasos a nulos elementos microflorísticos preservados (Figura 4.18). La esterilidad de las muestras se atribuye a una técnica de preparación mal desarrollada. La principal evidencia de un malogrado montaje en los preparados es la presencia de abundante material silíceo y orgánico, el cual debió ser eliminado en el proceso. El mejor montaje realizado corresponde a la muestra BAG24-3, donde tan sólo se reconocieron una docena de microfósiles vegetales. Bajo un enfoque cuantitativo y cualitativo se consideró insuficiente la información paleopalinológica, desestimando la escasa información que estos montajes podrían haber entregado al presente trabajo.

#### 4.1.5. Circones detríticos

De las muestras de roca extraídas en la columna estratigráfica se eligieron dos para separación de circones detríticos en el Taller de Preparación de Minerales del Departamento de Geología de la Universidad de Chile: BAG24-3 y BAG25-3.

N. Gutiérrez (Com. person., 2013) indicó que la muestra BAG24-3 contenía alrededor de 70 circones, mientras que la muestra BAG25-3 superaba los 100 granos del mismo mineral. Dado aquello, y en favor de la posición estratigráfica, se decidió enviar al laboratorio del Espectrómetro de Masas por Inducción de Plasma con Multicolectores y Sistema de Ablación por Láser (LA- ICPMS-MC) del Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA)

de la Universidad de Chile, sin embargo los resultados no estuvieron disponibles para el término del presente estudio. Se espera que durante el año 2014 se tengan los resultados de laboratorio, acorde a la información entregada por el mismo.

A partir de estos antecedentes no se ahondó en la edad absoluta de la unidad ni en sus posibles implicancias.

# Capítulo 5

## Análisis e interpretación

En este capítulo se describen las inferencias obtenidas de los datos recopilados y revisados tanto en la campaña de terreno como en el trabajo de gabinete. Las implicancias de estas interpretaciones, así como la coherencia de las mismas con el contexto geológico descrito anteriormente, se detallan en el capítulo 6.

### 5.1. Interpretación de facies sedimentarias y asociaciones

Para el reconocimiento de facies se manejaron los paquetes sedimentarios de las seis sub-unidades descritas. Siendo los contactos entre litologías contrastantes, las estructuras sedimentarias contenidas y las tendencias granulométricas los principales criterios de separación, se considera adecuado el uso de estas seis subdivisiones como elementos a interpretar.

La base teórica de la interpretación de facies sedimentarias se construyó a partir de las recopilaciones de ambientes sedimentarios de la literatura, acorde a Reading (2005), Boggs (2006), Boyd *et al.* (2006) y Nichols (2009).

Las seis sub-unidades entregan claras evidencias de un ambiente de *borde costero*, entendiéndose como tal, el conjunto de sistemas deposicionales que tienen aportes de sedimentos continentales y marinos, además de interacciones entre aguas dulces y aguas marinas salobres. La geometría de los depósitos, la granulometría y el contenido fosilífero representan las fuentes de mayor respaldo a esta afirmación.

Sin embargo, describir con mayor detalle el ambiente deposicional específico del afloramiento con los datos recopilados tiene trabas no menores. Nichols (2009, p.214-215) sugiere un resumen de características para la identificación de elementos en sistemas costeros y estuarinos (Tablas 5.1 y 5.2), utilizado como referente para las sugerencias de asignaciones de facies.



Tabla 5.1: Resumen de propiedades asociadas a sistemas de canales y planicies mareales

| Característica            | Sistemas de canales mareales   | Planicies mareales fangosas                          |
|---------------------------|--|--|
| Litología                 | Limos, arenas y, menos comunes, conglomerados  | Limos y arenas                                       |
| Mineralogía               | Variable   | Arcilla y arena de conchillas                        |
| Textura                   | Puede ser bien seleccionada en configuraciones de alta energía                       | Grano fino, no es diagnóstico                        |
| Geometría de las capas    | Lentes con bases erosivas  | Limos tabulares con lentes y láminas finas de arenas |
| Estructuras sedimentarias | Estratificación cruzada, laminación cruzada y estratificación heterolítica inclinada | Ondulitas, y laminación lenticular/platillos         |
| Paleocorrientes           | Bimodal en estuarios dominados por mareas  | Bimodal en estuarios dominados por mareas            |
| Fósiles                   | Ambiente marino somero   | Fauna marina somera y vegetación de marismas salinas |
| Color                     | No es diagnóstico  | Usualmente oscuros debido a condiciones anaeróbicas  |
| Asociaciones de facies    | Pueden ser fluviales, marinas someras, continentales o deltaicas                     | Pueden ser continentales o marinas someras           |

Tabla 5.2: Resumen de propiedades asociadas a sistemas de playas barrera y lagoons

| Característica            | Sistemas de playa barrera  | Lagoons  |
|---------------------------|--|--|
| Litología                 | Arenas y conglomerados   | Principalmente limos con algunas arenas  |
| Mineralogía               | Arenas maduras cuaríferas y arenas de conchillas                   | Variable   |
| Textura                   | Clastos bien redondeados y bien seleccionados                      | Grano fino, selección moderada a pobre   |
| Geometría de las capas    | Lentes elongados   | Limos con laminación fina con capas y lentes de arena  |
| Estructuras sedimentarias | Estratificación de bajo ángulo y retrabajo de olas                 | Ondulitas laminadas y de oleaje  |
| Paleocorrientes           | Principalmente estructuras de olas                                 | Raras, no diagnósticas   |
| Fósiles                   | Detritos de conchilla robustos                                     | Usualmente ensamblajes monoespecíficos de organismos tolerantes a salmueras o hipersalinidad |
| Color                     | No es diagnóstico  | Pueden ser oscuros debido a condiciones anaeróbicas  |
| Asociaciones de facies    | Pueden ser facies de planicies costeras, lagoons o marinas someras | Pueden ser depósitos de planicie costera o de barreras/playas                                |

Bajo el reconocimiento de las características mencionadas en las tablas 5.1 y 5.2 se sugiere como posibilidad a considerar la siguiente asignación de litofacies sedimentarias para las seis sub-unidades descritas:

1. **Facies de planicie mareal**

Correspondiente a las sub-unidades A y E.

2. **Facies de barras mareales**

Correspondiente a las sub-unidades B, D y F.

3. **Facies de barra o de canal mareal**

Correspondiente a la sub-unidad C.

Esta interpretación conlleva una presunta influencia mareal en los procesos deposicionales, lo cual tiene el inconveniente de no estar avalado por estructuras sedimentarias mareales clásicas (e.g. estratificación tipo *herringbone* o cruzada planar bidireccional). Aún así, se presenta la argumentación respectiva para la posible asignación de cada facies.

La sub-unidad A, si bien no muestra un patrón de intercalaciones entre limolita y arenisca fina, si tiene una geometría tabular a maciza. El bajo grado de preservación de estos niveles no permite un mejor detalle.

La sub-unidad B presenta un dominio general de areniscas y una asociación de icnogéneros que sugieren la icnofacies de *Skolithos*, esperable para un borde costero.

La sub-unidad C presenta un importante paquete de intercalaciones delgadas entre areniscas finas y limolitas, que se asociaría con ritmicidad en los depósitos. Las trazas fósiles de borde costero y la presencia de ondulitas en distintos segmentos también respaldarían la posible facies asignada. El principal problema para la posible asignación en este nivel recae en la identificación de una granulometría muy gruesa (Casi grava) en un nivel de areniscas de la base. Este nivel se podría explicar con un aporte mayor de sedimentos desde el continente, en un escenario coincidente con el periodo de retorno de cauces fluviales. Sin embargo, la escasez de afloramientos no permiten corroborar esta posibilidad.

La sub-unidad D está dominada por estratificación cruzada planar de mesoescala y tiene además una litología casi exclusivamente de areniscas finas bien seleccionadas. En la petrografía de la muestra BAG-21-1 la textura del cemento sugería un nivel freático profundo, pero nuevamente la falta de correlaciones no permite ser determinante. Las concreciones calcáreas y el alto contenido carbonático obedecen a procesos posteriores, por lo que no son relevantes para la interpretación genética.

La sub-unidad E está mejor definida que las demás debido a la exclusiva presencia de limolitas con improntas foliares. La facies de planicie mareal es acá más plausible que en caso de la sub-unidad A.

La sub-unidad F tiene elementos marinos exclusivos: los moldes de invertebrados y los dientes de peces cartilaginosos. Las trazas fósiles, el dominio de areniscas y los patrones de estratificación cruzada apoyarían una facies de barra mareal. Bajo la sucesión de facies

descrita se podría mencionar un aumento relativo de profundidad en el lugar de deposición, acorde a la evidencia de elementos fosilíferos netamente marinos por sobre una sub-unidad con material continental. La falta de afloramientos en unidades equivalentes imposibilita el desarrollo de esta idea a mayor plenitud.

Si bien la posibilidad de un ambiente mareal no es descartable, las otras opciones disponibles en el contexto de borde costero consideran deltas dominados por mareas, deltas dominados por olas, estuarios dominados por olas y/o un complejo deposicional que integre estos escenarios. Al igual que en el caso de las mareas como agente energético principal, las estructuras sedimentarias presentes no representan evidencias taxativas de una influencia atribuible exclusivamente a oleaje. En la columna estratigráfica no se infiere directamente una tendencia progradante, hecho que en parte avalaría la posibilidad de un depósito deltaico. Nuevamente, la inexistencia de otros afloramientos de estas unidades impide que esta característica sea determinada a plenitud.

## 5.2. Ambiente deposicional

Las sugerencias de asociaciones de facies respecto a las sub-unidades identificadas permitirían sostener un ambiente de borde costero. La calidad de pertenecer a un sistema estuarino, bajo la definición utilizada por autores como Nichols (2009), Reading (2005), Boggs (2006) y Boyd *et al.* (2006), no es completamente sustentable con toda la información del presente trabajo.

Dado aquello, un ambiente deltaico no se descarta, ni una combinación entre las posibilidades que comprende el borde costero. Lamentablemente, las variaciones laterales están sujetas solo a la exposición del afloramiento, sin posibilidad de identificar si existen tendencias de mayor escala, a diferencia de lo que ocurre en otros sectores del área de estudio (*e.g.* Formación Santa Cruz en Morro Bayo, Bostelmann *et al.*, 2013). La geometría tridimensional del depósito no está entonces caracterizada como para descartar opciones.

A pesar de todo, dada la sugerencia de ambiente estuarino con influencia mareal se describen las hipotéticas condiciones energéticas del depósito (Figura 5.1) y el modelo sugerido para el mismo (Figura 5.2).

### **Energía de un estuario dominado por mareas**

La figura 5.1, modificada de Dalrymple *et al.*, (1992), muestra la zonificación energética clásica de los estuarios dominados por mareas hecha por aquél autor. Un estuario de esta naturaleza tiene: una zona marina influenciada por las corrientes mareales y, en menor medida, las olas; una zona mixta, con influencia marina y de las corrientes de río; y una zona dominada por el río principal, donde es este el tipo de corrientes que condicionan los depósitos. En planta, siguiendo esta clasificación tipo, los estuarios dominados por mareas tienen un sector con barras de arena mareales, una planicie mareal limosa, un sector con marismas salinas y un canal fluvio-mareal que se cierra hacia el continente. El valle que circunda este

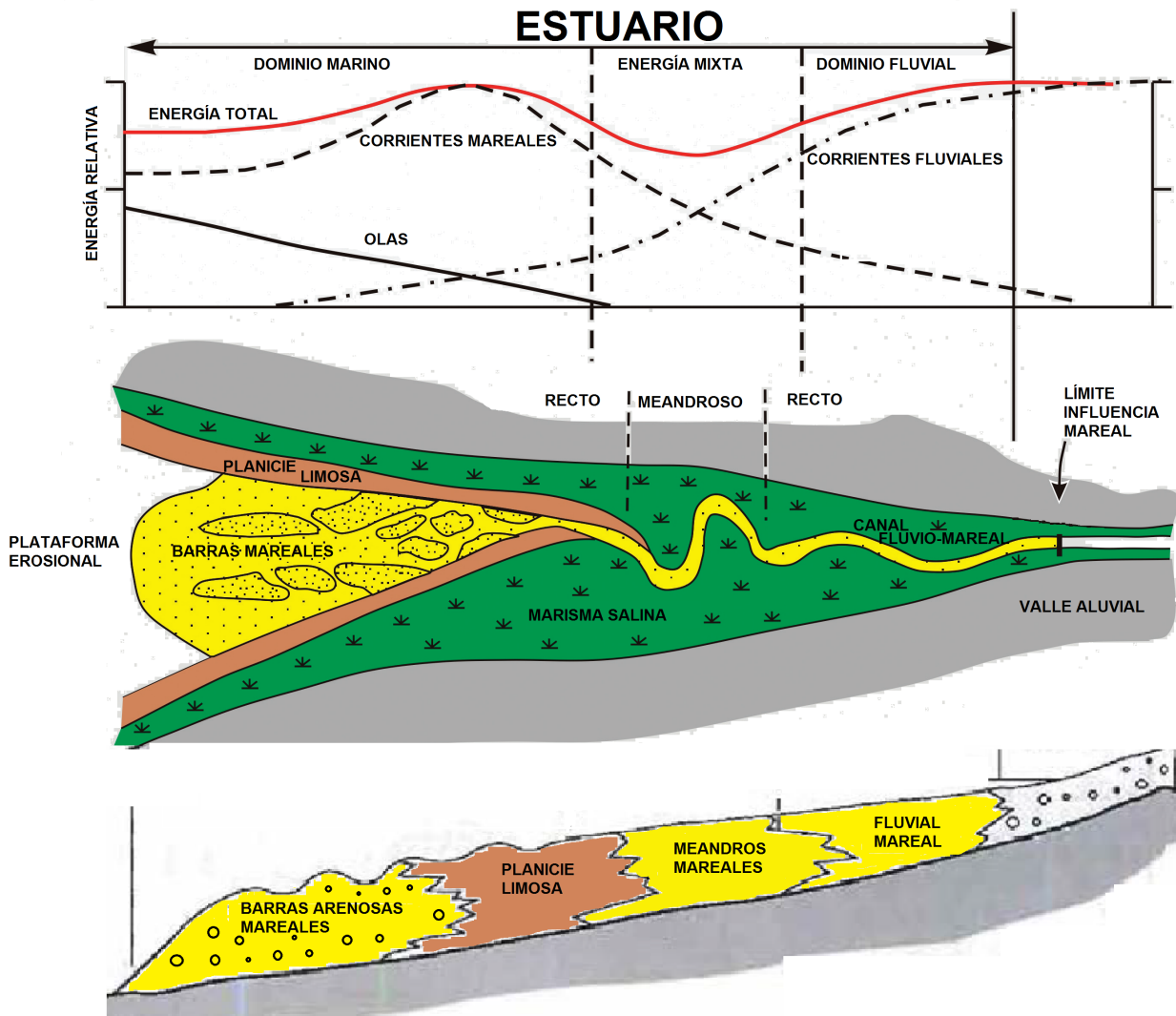


Figura 5.1: Energía y esquema en planta de un estuario dominado por mareas. Se destacan las zonas de barras arenosas, planicie limosa, canal mareal y la zona netamente fluvial (modificado de Dalrymple *et al.*, 1992)

sistema frecuentemente puede ser de tipo aluvial, con depósitos de dicha naturaleza.

El modelo del ambiente descrito sería semejante a la representación de la Figura 5.2.

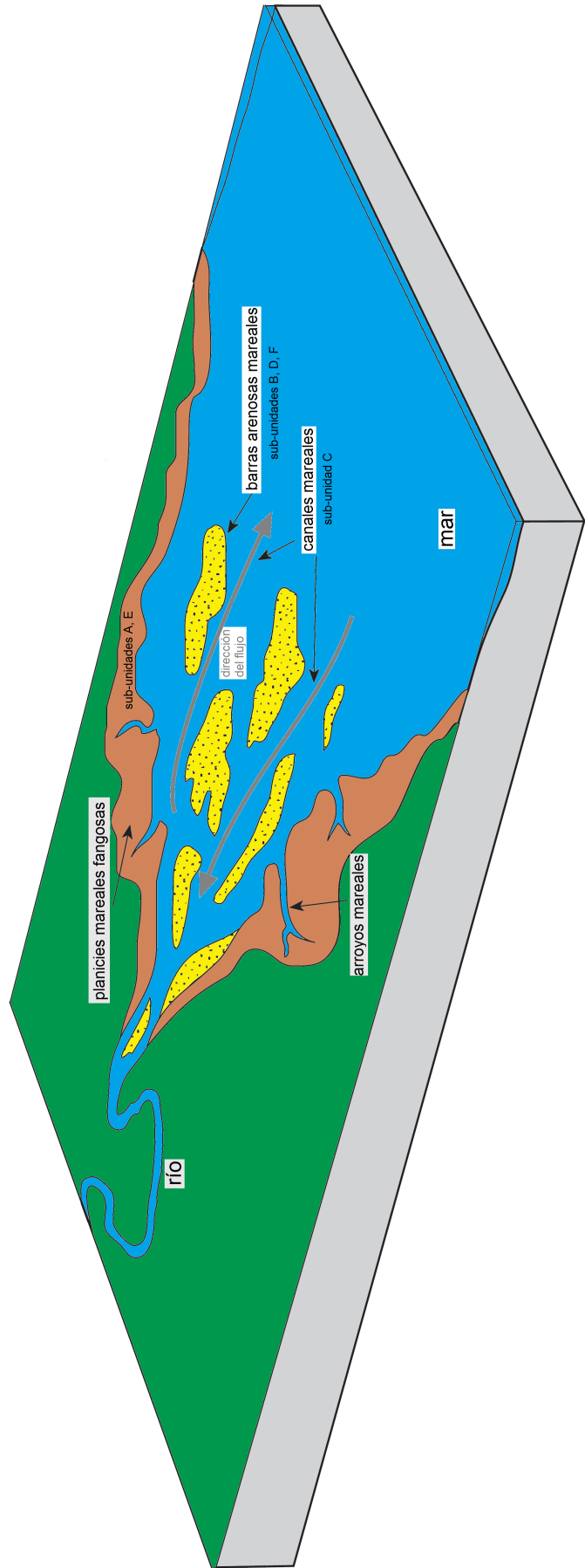


Figura 5.2: Representación tipo de ambiente estuarino con dominio energético de mareas. Se mencionan las respectivas sugerencias para la interpretación de las sub-unidades identificadas en la columna estratigráficas del chorrillo Las Flores (modificado de Nichols, 2009).

Las otras opciones paleoambientales admisibles se asemejarían a las representaciones de las figuras 5.3 y 5.4.

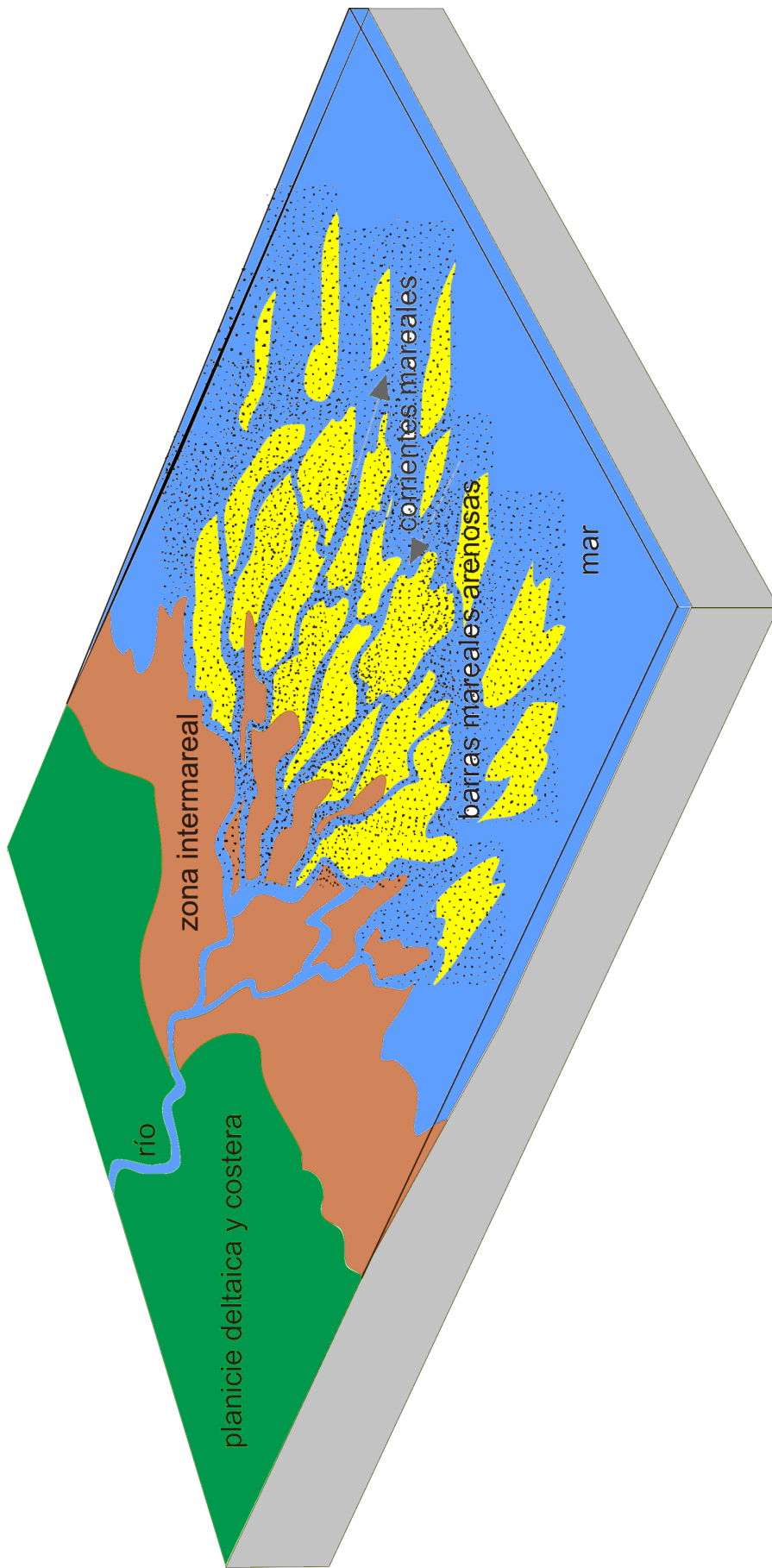


Figura 5.3: Opción de modelo tipo para un ambiente deltaico con dominio energético de mareas (modificado de Nichols, 2009).



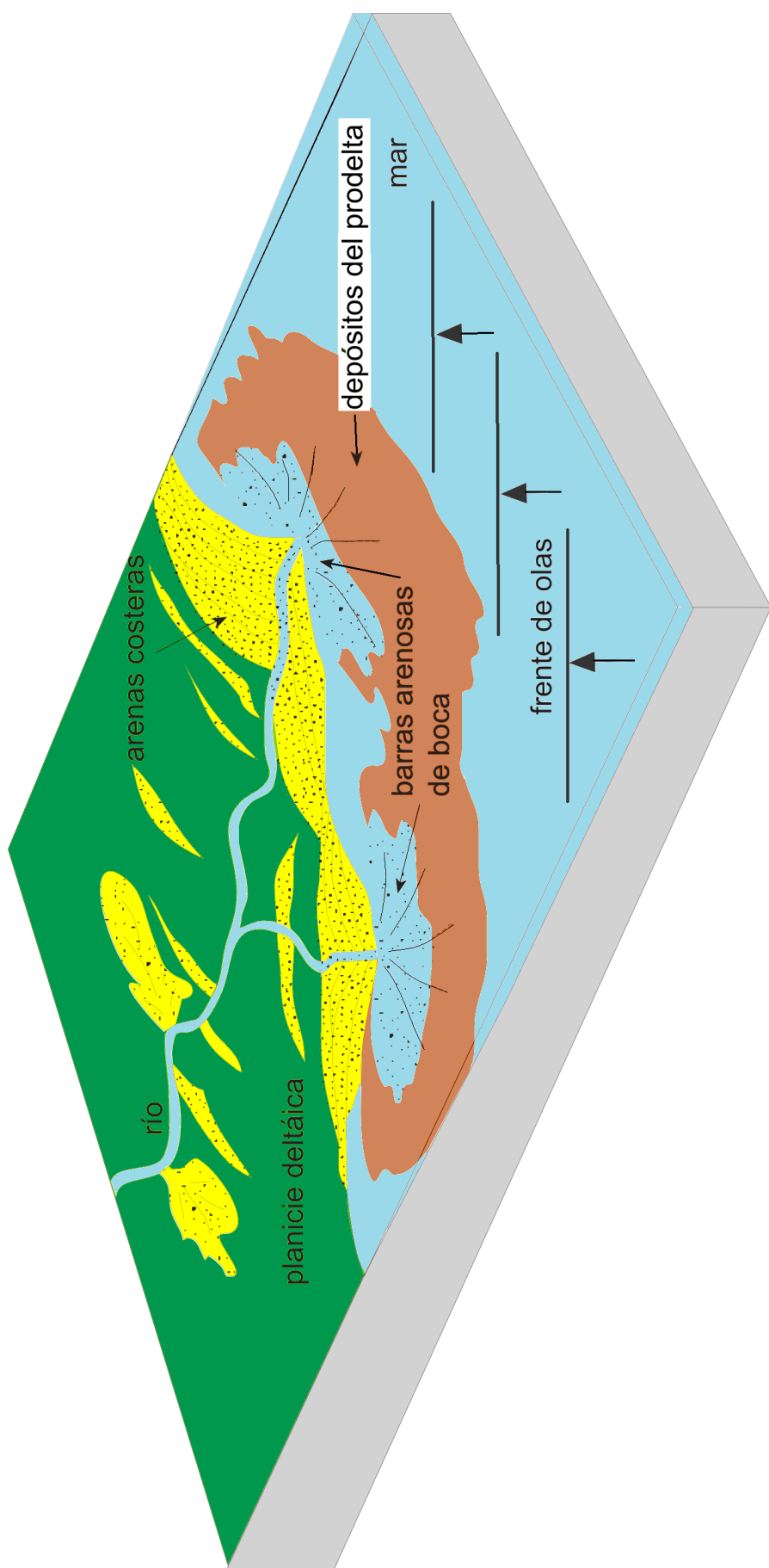


Figura 5.4: Modelo tipo para un ambiente deltaico con dominio energético de olas (modificado de Nichols, 2009).

# Capítulo 6

## Discusión

A partir de las interpretaciones realizadas en el capítulo 5 se discuten las similitudes y diferencias con la interpretación original del afloramiento (sección 6.1), la nueva condición de las unidades representadas en el afloramiento respecto a la estratigrafía actualizada de la Sierra Baguales (sección 6.2), y el marco bajo un enfoque de estratigrafía de secuencias para el sector estudiado (sección 6.3)

### 6.1. Contrastes con interpretación original

El trabajo de Cecioni (1957b) sobre los afloramientos descritos difiere en algunos aspectos respecto a datos de la definición y de la interpretación realizada en el presente estudio.

La potencia mencionada inicialmente era de aproximadamente 160 m, mientras que la columna estratigráfica actual presenta, de manera precisa, un espesor total de 56.8 m.

El ambiente deposicional descrito originalmente está inserto completamente en un medio continental, a diferencia del ambiente marino somero-borde costero que se sugiere en la interpretación del capítulo 5.

La correlación original con la Formación El Salto se basa en la presencia de improntas foliares de *Nothofagus* sp. Bajo un criterio litoestratigráfico esta correlación es inválida. Independiente de dicha condición, la estratigrafía de la Sierra Baguales deja entrever con claridad que la presencia de *Nothofagus* sp. no es, en ningún caso, un elemento que permita equivalencias litoestratigráficas.

La correlación con Formación El Salto conlleva otra problemática no resuelta. Esta unidad se sitúa estratigráficamente subyaciendo en concordancia a la Formación Palomares, equivalente de la Formación Santa Cruz por su litología y contenido de vertebrados fósiles continentales. La efectiva correlación implicaría la existencia de un hiato respecto a las Formaciones Río Leona y Estancia 25 de Mayo, las cuales suprayacen a las rocas del afloramiento estudiado (ver sección 4) y subyacen a la Formación Santa Cruz (Figura 3.2).

Por lo tanto, se descarta de plano la posible correlación, en base a la enfoque en que se realizó -bioestratigráfico- y a la incoherencia respecto a al marco estratigráfico local.

### **6.1.1. Edad de las unidades del chorrillo Las Flores**

La mención de una edad oligocénica se sustentaba en la correlación antes descartada con la Formación El Salto. Sin embargo, no hay todavía datos tajantes que permitan asegurar que esté errada. La posición estratigráfica descrita sugiere que los niveles estarían por debajo de la Formación Río Leona y sobrepuestos a unidades típicamente eocenas definidas como pertenecientes a la Formación Man Aike en la zona de Sierra Baguales, tal cual se discute en la sección 6.2. Los ensambles fosilíferos no son en ningún caso indicativos, pues, incluso si efectivamente los moldes de bivalvos correspondiesen a *Modiomytilus mercerati*, el biocrón no es lo suficientemente acotado para considerarlo un fósil guía. Sólo los datos radiométricos que están en proceso permitirán afirmar con seguridad la edad absoluta de los niveles en cuestión.

### **6.1.2. Estatus sugerido para la Formación Las Flores**

Las rotundas diferencias destacadas anteriormente dan lugar a cuestionar la validez de esta formación. En la Guía Estratigráfica Internacional, Salvador (1994: p.17) menciona que cada unidad *debidamente propuesta y debidamente descrita* debe incluir:

1. Una clara y completa definición, caracterización, y descripción de la unidad para que cualquier investigador subsecuente pueda reconocerla inequívocamente.
2. La propuesta de tipo, nombre, y categoría de la unidad.
3. La designación de un estratotipo (sección tipo) o localidad tipo en la cual la definición y descripción de la unidad se basa.

El primer punto comprende además los siguientes tópicos pertinentes:

- a Nombre
- b Estratotipos y otros estándares de referencia
- c Descripción de unidad en el estratotipo o en la localidad tipo
- d Aspectos regionales
- e Edad geológica
- f Correlación con otras unidades
- g Génesis (cuando es apropiado)

## h Referencias a la literatura

Si bien la definición original hace mención a todos los tópicos requeridos, al menos la descripción del estratotipo, los aspectos regionales -*e.g.* extensión geográfica: variaciones regionales en potencia, propiedades bioestratigráficas, entre otras; relaciones estratigráficas- y la correlación con otras unidades formales están errados. Al considerar el tópico que se refiere a los *estratotipos y otros estándares de referencia*, se recalca que la descripción original del estratotipo no describe litológicamente los límites respecto a otras unidades. Si bien se menciona que está sobreyaciendo a la Formación Río Baguales, no se describe el contacto ni en qué localidad sería posible distinguir el mismo. Salvador (1994: p.30) detalla que la aceptación de un estratotipo está íntimamente ligada a la utilidad y el entendimiento generalizado del mismo como estándar de referencia. Específicamente menciona:

[...] *Es, por lo tanto, siempre deseable, y a la vez esperable, que la designación de un estratotipo haya sido enviada para aprobación del cuerpo geológico teniendo la más alta posición en cualquier caso particular.*[...]

Es decir, el cuerpo rocoso debiese ser referencia y no variar acorde a distintas miradas. Esta condición no se cumple en el caso del afloramiento en Las Flores, donde incluso ahora hay dudas de su génesis ambiental. A esta condición se añade que el único afloramiento de la unidad en cuestión resulta ser su estratotipo, hecho que no permite posibilidad de considerar una escala regional.

Por lo tanto, siguiendo las convenciones de la Guía Estratigráfica Internacional, se sugiere descartar la formación y reasignar los estratos a una unidad litoestratigráfica regional más representativa y clara.

## 6.2. Interpretación actual respecto a otros estudios en la región

En la descripción original de la Formación Las Flores, Cecioni (1957b) consideraba que esta unidad sería equivalente a la Formación Río Leona o a un nivel transicional entre la Formación Man Aike y la Formación Río Leona. Sin embargo, la posición estratigráfica y la similitud litológica de las unidades con afloramientos de la Formación Man Aike en el sector de Sierra Baguales sugieren su correlación.

Las litologías descritas -paquetes de areniscas muy finas a medias, limolitas e intercalaciones entre éstas- y los ambientes interpretados son similares a los descritos por Le Roux *et al.* (2010) en la estancia 3R, 14 km al noroeste del puesto Las Flores. También el contenido fosilífero es similar, con presencia de dientes de tiburón, improntas foliares y trazas fósiles de la icnofacies de *Skolithos*. Se mencionan diversos invertebrados marinos, tanto bivalvos como braquiópodos, mas no hay evidencia del género *Modiomytilus*. La correlación de unidades y facies no es directa, con un modelo de boca de estuario y delta dominado por mareas que no permite una conexión clara entre las asociaciones de facies descritas para las unidades de Las Flores. El afloramiento es considerablemente más extenso (240 m de potencia), dejando

en evidencia un mayor grado de precisión al describir la serie sedimentaria.

Marensi *et al.* (2002) menciona litologías, icnogéneros y fósiles marinos similares para la Formación Man Aike en la localidad de Estancia 25 de Mayo, Argentina, 51 km al norte del puesto Las Flores. También hacen mención a una sedimentación en ambientes de canales fluviales, barras arenosas submareales y planicies submareales. Entre los diversos bivalvos hallados se reconocen principalmente ostreidos, *Venericardia* sp. y *Atrina* sp., sin mención a mytilidos.

En la misma zona, Cassadio *et al.* (2009) realiza un acucioso estudio paleontológico junto con un complemento de la sedimentología de la formación. Describe una discordancia erosiva con la suprayacente Formación Río Leona y concluye que la unidad se habría depositado al final del Eoceno medio. Los icnogéneros caracterizados -*Thalassinooides*, *Planolites*, *Ophiomorpha*, *Skolithos*- son abundantes y coincidentes con las icnofacies *Skolithos* y *Cruziana*. Dentro del amplio contenido de invertebrados mencionado se encuentran braquiópodos, gastrópodos y bivalvos. Entre éstos últimos también se describen especímenes de la familia Mytilidae, pero correspondientes al género *Gregariella*.

Rodríguez Rasing (2010) profundiza la caracterización de ésta localidad y, al mismo tiempo, realiza estudios en el miembro superior de la Formación Río Turbio en la zona de la ciudad de Río Turbio, la estancia Cancha Carrera y la frontera con Chile. La interpretación general de niveles marinos someros es continuamente corroborada en cada una de estas locaciones.

Sin embargo, la correlación de las unidades litoestratigráficas revisadas en el presente estudio con la Formación Río Turbio también presenta algunas dificultades. La localidad tipo, en las inmediaciones de la ciudad de Río Turbio, Argentina, se encuentra 74 km al sur del puesto Las Flores, hecho que da cabida a variaciones considerables. Pearson *et al.* (2012) describe en detalle el miembro superior de la Formación Río Turbio, con énfasis en las icnofacies. En las secciones realizadas a un costado de la Ruta 40, con una excelente extensión lateral (Figura 6.1), describe cuatro tipos de asociaciones de facies: thalwegs de canales, planicie mareal, complejos de barras de arena submareales y arrecifes submareales de ostras/margen de arrecife. El modelo deposicional sugerido es un sistema de boca de estuario dominado por mareas y tendencia retrogradante, con litologías y contenido fosilífero muy similar a las unidades del afloramiento en el puesto Las Flores. La gran diferencia en esta formación recae principalmente en los potentes mantos carboníferos (Figura 6.1-C), con espesores que llegan a *ca.* 5 m.

En la figura 6.2 se muestra una compilación de información regional de la Formación Man Aike, al norte (Marensi *et al.*, 2002; Cassadio *et al.*, 2009; Le Roux *et al.*, 2010; Gutiérrez *et al.*, 2013; Cuitiño y Scasso, 2013; este trabajo), y Formación Río Turbio, al sur (Rodríguez Rasing, 2010; Pearson *et al.*, 2012). En primera instancia, la tendencia regional norte-sur no parece interrumpida.

Si bien las evidencias para correlacionar no son rotundas, se sugiere que, al menos de forma provisoria, las unidades litoestratigráficas que afloran en el chorrillo Las Flores sean reasignadas a la Formación Man Aike, en base a su similitud litológica, proximidad geográfica, contenido fosilífero, tendencias deposicionales y marco regional.

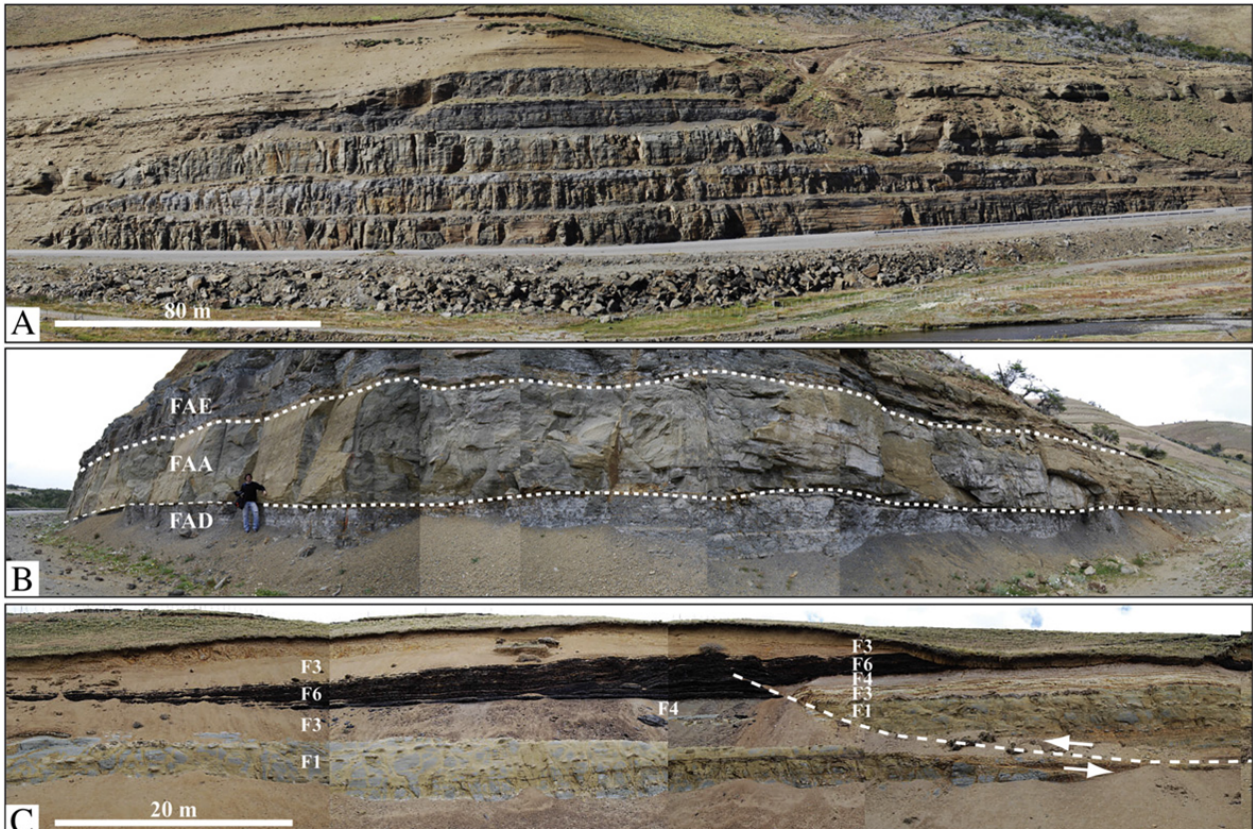


Figura 6.1: Secciones del miembro superior de la Formación Río Turbio a un costado de la ruta 40, correspondientes a las secuencias definidas en Rodríguez Raising (2010). Se puede apreciar la considerable extensión y exposición de los afloramientos. A. Gran corte rutero en escalones. B. Estilo de las asociaciones de facies identificadas. C. Manto de carbón en afloramiento fallado (extraído de Pearson *et al.*, 2012).



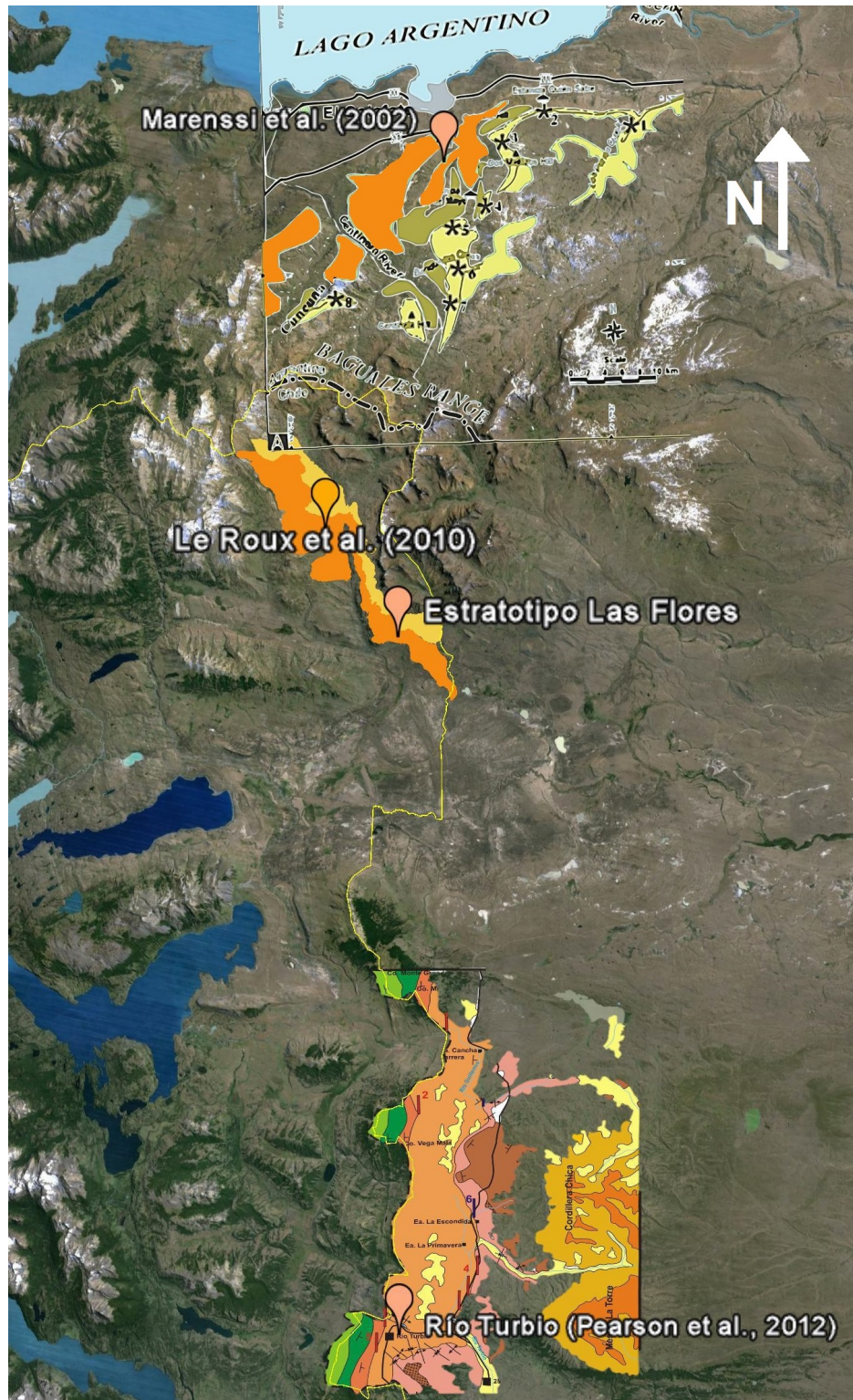


Figura 6.2: Compilación de mapeo regional para la Formación Man Aike -color naranja fuerte, zona norte- y Formación Río Turbio -color naranja suave, zona sur-. Se destaca, en la zona central de la figura, la ubicación de los afloramientos del chorrillo Las Flores y las localidades -rótulos blancos- de los trabajos utilizados en la correlación (figura elaborada con datos extraídos de: Cassadio *et al.*, 2009; Cuitiño y Scasso, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2013; Le Roux *et al.*, 2010; Marensi *et al.*, 2002; Pearson *et al.*, 2012; Rodríguez Rasing, 2010; este trabajo).

### 6.3. Unidades estudiadas y estratigrafía secuencial

Para el área de la Sierra Baguales la estratigrafía de secuencias no ha sido desarrollada ni descrita. Ni siquiera los trabajos de ENAP en el área abordaron desde éste enfoque las unidades cenozoicas de la cuenca.

Si bien el presente estudio tenía, como parte de los objetivos específicos, generar un modelo secuencial del sector, la pequeña escala de la sección realizada, la pobre extensión lateral de los afloramientos, la ausencia de superficies índices y la incerteza respecto a la total continuidad de las formaciones tanto en la base como en el techo, no permiten revisar desde un enfoque aloestratigráfico los depósitos en cuestión.

A pesar que la literatura tiene algunos ejemplos de estudios acabados en estratigrafía secuencial de la zona (*e.g.* Macellari *et al.* (1989) en las Formaciones Cerro Cazador y Cerro Dorotea; Marensi *et al.* (2005) en Formación Río Leona; Rodríguez Raising (2010) en las Formaciones Río Turbio, Man Aike y Río Guillermo), la necesidad de datos efectivamente correlacionables entre si en el sector chileno hace aún infructífera la sugerencia de un modelo secuencial.



# Conclusiones

A partir del trabajo realizado se concluyó lo siguiente:

Las rocas que afloran a 1 km al noreste del puesto Las Flores, chorrillo arriba, corresponden a un serie sedimentaria con un espesor total de 56.8 m, compuesto por areniscas muy finas a medias intercaladas con limolitas de menor potencia. Las seis sub-unidades descritas e identificadas, en un análisis litológico, sedimentológico y paleontológico, corresponden a niveles marinos someros.

A partir de las sub-unidades se sugirió la interpretación de tres facies sedimentarias: planicie mareal, barra mareal y un posible canal mareal.

Se interpretó un ambiente deposicional de borde costero. Se sugiere la posibilidad de describir el mismo con un estuario dominado por mareas, acorde a las facies descritas. De igual manera, otros ambientes deposicionales costeros, tales como deltas y estuarios dominados por oleaje, no se pueden descartar a partir de los datos recopilados. La asociación de los distintos icnogéneros presentes permitirían distinguir una icnofacies de tipo *Skolithos*, común en bordes costeros.

La Formación Las Flores, como se describió inicialmente en Cecioni (1957b), no es válida acorde a las convenciones estratigráficas internacionales (Salvador, 1994) y se sugiere descartar la misma, así como evitar sus futuras referencias.

Las unidades litoestratigráficas del afloramiento estudiado deberían ser, al menos temporalmente, reasignadas a la Formación Man Aike, del Eoceno Medio. Las dataciones radiométricas permitirán ser tajantes respecto a la correlación final.

La correlación con la Formación Río Turbio no puede ser, de momento, descartada. Estudios que complementen la continuidad de esta formación hacia el norte y que contemplen el registro geológico en el sector chileno, permitirán dilucidar la continuidad o quiebre de esta unidad en la región.

## Recomendaciones

Se recomienda realizar una descripción detallada de los afloramientos correspondientes a la base del lugar de estudio, es decir, las rocas que afloran en la incisión del chorrillo Las Flores, hacia el sur. El fin principal de esto es caracterizar de mejor manera las superficies de

contacto en las unidades infrayacentes y permitir una contextualización más acabada respecto a Formación Man Aike.

Se sugiere realizar una colecta sistemática de fósiles más completa del afloramiento, a fin de permitir un estudio bioestratigráfico que complete la caracterización regional de los taxa de invertebrados marinos en la región.

Se recomienda revisar las paleocorrientes del afloramiento estudiado y contrastarlas con las tendencias imperantes a nivel regional en las otras formaciones de la Sierra Baguales, a fin de complementar los estudios en esta materia por su extremo más oriental.

# Bibliografía

- Allen, R. B., 1982. Geología de la cordillera Sarmiento, Andes Patagónicos entre los 51° 00' y 52° 15' lat. Sur, Magallanes, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNA-GEOMIN), Boletín 38.
- Ameghino, F., 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias en Córdoba* 6: 1-1027.
- Arbe, H. A. y Hechem, J. J., 1985. Estratigrafía y facies de depósitos marinos profundos del Cretácico Superior, Lago Argentino, Provincia de Santa Cruz. *Actas del Congreso Geológico Argentino*, 9, 7-41.
- Archangelsky, S., 1969. Estudio del paleomicroplancton de la Formación Río Turbio (Eoceno), Provincia de Santa Cruz. *Ameghiniana*, 6(3): 181-218.
- Augustsson, C., Bahlburg, H., 2003. Active or passive continental margin? Geochemical and Nd isotope constraints of metasediments in the backstop of a pre-Andean accretionary wedge in southernmost Chile (46° 40'–48° 30'S). En: Mccann, T., Saintot, A. (editores) *Tracing tectonic deformation using the sedimentary record*. Geological Society, London, Special Publications, 208: 253–268.
- Barreda, V.D., Palazzesi, L., Marensi, S., 2009. Palynological record of the Paleogene Río Leona Formation (southernmost South America): Stratigraphical and paleoenvironmental implications. *Review of Palaeobotany and Palynology* 154 (1-4): 22-33.
- Barwick, J.S., 1955. The surface stratigraphy of portions of Magallanes Province, Chile. Informe ENAP (Inédito).
- Boggs, S., 2006. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*, 4<sup>ta</sup> edición, Pearson Prentice Hall, California University, 662 pp.
- Bostelmann, J.E., Le Roux, J.P., Vásquez, A., Gutiérrez, N.M., Oyarzún, J.L., Carreño, C., Torres, T., Otero, R., Llanos, A., Fanning, C.M., Hervé, F. (2013). Burdigalian deposits of the Santa Cruz Formation in the Sierra Baguales, Austral (Magallanes) Basin: Age, depositional environment and vertebrate fossils. *Andean Geology* 40 (3): 458-489.
- Boyd, R., Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A., 2006. Estuarine and incised-valley facies models. En: Posamentier, H.W. y Walker, R.G. (eds.), *Facies models revisited*. SEPM Special Publication 84: 171-235.
- Brandmayr, J., 1945. Contribución al conocimiento geológico del extremo S-SO del territorio de Santa Cruz (región Cerro Cazador-Río Turbio). *Boletín de Informaciones Petroleras*, 22: 415-443. Buenos Aires.

- Calderón, M., 2000. Estudio petrográfico de las rocas metamórficas ubicadas al este del Batolito Patagónico en la región de Magallanes (48°-50° L.S.). Tesis, Departamento de Geología, Universidad de Chile, 86 pp.
- Calderón, M., 2006. Petrogenesis and tectonic evolution of Late Jurassic bimodal magmatic suites (Sarmiento Complex) and migmatites (Puerto Edén Igneous Metamorphic Complex) in the southern Patagonian Andes, Chile. Tesis de doctorado, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 183 pp.
- Casadío, S., Griffin, M., Marensi, S., Net, L., Parras, A., Rodríguez Raising, M., Santillana, S., 2009. Paleontology and sedimentology of Middle Eocene rocks in lago Argentino area, Santa Cruz Province, Argentina. *Ameghiniana (Revista Asociación Paleontológica Argentina)* 46 (1): 27-47. Buenos Aires.
- Cecioni, G., 1955c. Distribuzione verticale di alcune Kossmaticeratidae nella patagonia Cilena. *Società Geologica Italiana Bolletino* 74: 141-149.
- Cecioni, G., 1956a. *Leopoldia? paynensis* Favre: sua posizione stratigrafica in Patagonia. *Atti Società Italiana di Scienze Naturali* 95: 135-145.
- Cecioni, G. 1957a. Cretaceous flysch and molasse in Departamento Última Esperanza, Magallanes, Chile. *AAPG Bulletin* 41: 538-564.
- Cecioni, G., 1957b. Età della flora del Cerro Guido e stratigrafia del Departamento Última Esperanza. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 76: 3-16.
- Charrier, R., Pinto, L., Rodríguez, M.P., 2007. Tectono-stratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile, in: *Geology of Chile, Chapter 3* (Gibbons, W. and Moreno, T., editors), The Geological Society, London, Special Publication 21-116.
- Cortés, R. 1964. Reconocimiento geológico del área Rio Las Chinas-Río Bandurrias (Última Esperanza). Informe inédito, ENAP-Magallanes, N° 14.01.035: 12.
- Cuitiño, J.I., Scasso, R.A., 2010. Sedimentología y paleoambientes del Patagoniano y su transición a la Formación Santa Cruz al sur del Lago Argentino, Patagonia Austral. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66: 406-417.
- Cuitiño, J.I., Scasso, R.A., 2013. Reworked pyroclastic beds in the early Miocene of Patagonia: Reaction in response to high sediment supply during explosive volcanic events. *Sedimentary Geology* 289: 194-209
- Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A, Boyd, R., 1992. Estuarine facies models: Conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology* 62: 1130-1146.
- Desjardins, P.R., Mángano, M.G., Buatois, L.A., Pratt, B.R., 2010. Skolithos pipe rock and associated ichnofabrics from the southern Rocky Mountains, Canada: colonization trends and environmental controls in an early Cambrian sand-sheet complex. *Lethaia* 43: 507-528.
- Desjardins, P.R., Buatois, L.A., Pratt, B.R., Mángano, M.G., 2012. Sedimentological – ichnological model for tide-dominated shelf sandbodies: Lower Cambrian Gog Group of western Canada. *Sedimentology* 59: 1452-1477.
- DGAC - Dirección Meteorológica de Chile, s.f.e. Región de Magallanes: Clima de Estepa Fría, [http://www.meteochile.cl/climasclimas\\_duodecima\\_region.html](http://www.meteochile.cl/climasclimas_duodecima_region.html). [Consulta: sábado, 12 de Abril de 2014]

- Faúndez, V., Hervé, F., Lacassie, J. P., 2002. Provenance studies of pre-late Jurassic meta-turbidite successions of the Patagonian Andes, southern Chile. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 45: 411–425.
- Feruglio, E., 1938. El Cretácico superior del lago San Martín (Patagonia) y de las regiones adyacentes. *Physis* 12: 293-342.
- Feruglio, E., 1944. Estudios geológicos y glaciológicos en la región del lago Argentino (Patagonia). *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 37: 3-255.
- Feruglio, E., 1949. Descripción geológica de la Patagonia. Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Tomo I: 334 p. Buenos Aires.
- 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: 1596.
- Fildani, A., Crane, W.H., Romans, B.W., Hubbard, S.M., Shultz, M.R., 2007. Mesozoic through early Tertiary stratigraphic evolution and deep-water deposition of Magallanes Basin, southern Patagonia, Chile. En: Nilsen, T., Shew, R., Steffens, G, and Studlick, J., (editores), *Deep-water outcrops of the world atlas: AAPG Studies in Geology* 56: 123-124.
- Fosdick, J.C., 2008. Assessing deformation and exhumation patterns in the Magallanes foreland basin and Andean fold-and-thrust belt: A progress report: Stanford Project on Deep-Water Depositional Systems (SPODDS) *Proceedings* 16: 103–131.
- Fosdick, J.C., Romans, B.W., Fildani, A., Bernhardt, A., Calderón, M., Graham, S.A., 2011. Kinematic evolution of the Patagonian retroarc fold-and-thrust belt and Magallanes foreland basin, Chile and Argentina, 51° 30'S. *Geological Society of America Bulletin* 123 (9-10): 1679-1698
- Fosdick, J.C., Grove, M., Hourigan, J.K., Calderón, M., 2013. Retroarc deformation and exhumation near the end of the Andes, southern Patagonia. *Earth and Planetary Science Letters* 361: 504-517.
- Furque, G. 1973. Descripción geológica de la Hoja 58b Lago Argentino. *Boletín del Servicio Nacional Minero y Geológico* 140: 1-49. Buenos Aires.
- Furque, G., Camacho, H.H. 1972. El Cretácico Superior y Terciario de la región Austral del Lago Argentino (Provincia de Santa Cruz). En: *Jornadas Geológicas Argentinas*, No. 4, Actas 3: 61-76. Buenos Aires.
- Galeazzi, J.S., 1998. Structural and stratigraphic evolution of the western Malvinas basin, Argentina, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 82 (4): 596-636.
- García, F., Cortés, R. 1954. Informe geológico del área comprendida entre el Río Rubens y Sierra Dorotea.- ENAP (Informe inédito).
- Genta-Iturrería, S., Griffin, M., Rodriguez Raising, M., 2011. Redescription of the genus *Modiomytilus* Griffin, 1990 (Bivalvia: Mytilidae) from Southern Patagonia with remarks on the paleobiogeography of the genus. *The Nautilus* 125: 213-220
- Ghiglione, M.C., Suarez, F., Ambrosio, A., Da Poian, G., Cristallini, E.O., Pizzio, M.F., Reinoso, R.M., 2009. Structure and evolution of the Austral Basin fold-thrust belt, southern Patagonian Andes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (1): 215-226.

- González, E., Tapia, G., 1952a. Informe Geológico Preliminar en el Anticlinal Manzano y Área de los Cerros Palomares-Estancia Río Verde. Informe inédito N°1.0100.0049, Empresa Nacional del Petróleo (ENAP): 146 p. Punta Arenas.
- González, E., Tapia, G., 1952b. Levantamiento Geológico Estructural en el Área de Estancia El Salto-Sección Las Coles. Informe inédito N°1.0100.0043, Empresa Nacional del Petróleo (ENAP): 32 p. Punta Arenas.
- Griffin, M., 1990. *Modiomytilus*, a new Mytilid Bivalve from the Tertiary of Southern Patagonia. *Journal of Paleontology* 64 (3): 377-382. Kansas.
- Griffin, M., 1991. Eocene Bivalves from the Río Turbio Formation, Southwestern Patagonia (Argentina). *Journal of Paleontology* 65: 119-146.
- Griffin, M., Hünicken, M., 1994. Late Cretaceous - early Tertiary gastropods from Southwestern Patagonia (Argentina). *Journal of Paleontology* 68: 257-274.
- Gutierrez N. M., Le Roux, J.P., Bostelmann, E., Oyarzún, J.L., Ugalde, R., Vásquez, A., Otero, R.A., Araos, J., Carreño, C., Fanning, C.M., Torres, T., Hervé, F., 2013. Geology and stratigraphy of Sierra Baguales, Última Esperanza Province, Magallanes, Chile. *Bolletino dei Geofísica Teorica ed Applicata* 54 (2): 327.
- Harrington, H.J., Leanza, A.F., 1957. Ordovician trilobites of Argentina. University of Kansas, Special Publication 1: 276 pp.
- Hauthal, R., 1898. Üeber patagonisches Tertiär. *Zeitschrift der Deutschland Geologische Gesellschaft* 50: 436-440. Berlín.
- Hervé, F., Aguirre, L., Godoy, E., 1998. Nuevos antecedentes acerca de la edad y las condiciones P-T de los Complejos Metamórficos en Aysén, Chile. X Congreso Latinoamericano de Geología, Buenos Aires, II, 134-137.
- Hervé, F., Fanning, C. M., Pankhurst, R. J., 2003a. Detrital zircon age patterns and provenance in the metamorphic complexes of Southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 107-123.
- Hervé, F., Faundez, V., Calderón, M., Massonne, H.-J., Willner, A.P., 2007. Chapter 2: Metamorphic and plutonic basement complexes. in: *Geology of Chile, Chapter 3* (Gibbons, W. and Moreno, T., editors), The Geological Society, London, Special Publication, p. 5-19.
- Hoffstetter, R., Fuenzalida, H., Cecioni, G. 1957. Lexique stratigraphique international. Amérique Latine, Chili. *Centre National Recherche Scientifique* 5 (7): 444 pp. Paris.
- Hollister, J., 1944. Report on the United Geophysical Company petroleum survey of the Province of Magallanes, Chile. ENAP (Informe inédito).
- Hünicken, M., 1955. Depósitos Neocretácicos y Terciarios del Extremo SSW de Santa Cruz (Cuenca carbonífera de Río Turbio). *Revista del Instituto Nacional de Investigaciones de las Ciencias Naturales (Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia")*, *Ciencias Geológicas* 4: 1-164.
- Jobe, Z.R., Bernhardt, A., Lowe, D.R., 2010. Facies and architectural asymmetry in a conglomerate-rich submarine channel fill, Cerro Toro Formation, Sierra del Toro, Magallanes Basin, Chile. *Journal of Sedimentary Research* 80: 1085-1108

- Katz, H. R., 1963. Revision of Cretaceous stratigraphy in Patagonian Cordillera of Última Esperanza, Magallanes Province, Chile. AAPG Bulletin, 47: 506–524.
- 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 de la Sociedad Nacional de Minería de Santiago 48: 706-717.
- Kilian, R., Weigand, O., Altherr, R., 1997. Tertiary to Quaternary chemical trends of basalts from the Cordillera Baguales -50°S-: constraints on the geotectonic evolution of southernmost Andes. En: Actas VIII Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, 2: 1666-1670.
- Kraemer, P.E., 1998. Structure of the Patagonian Andes: regional balanced cross section at 50°S, Argentina. International Geology Review 40: 896–915.
- Lagally, U., 1975. Geologische untersuchungen mit gebiet lake General Carrera – lake Cochranne, Prov. Aysen/Chile unter besonderer berücksichtigung des grundgebirges und seiner tektonik. PhD Dissertation, Ludwig-Maximilians – Universität München, Germany. 131 pp.
- Le Roux, J.P., Puratich, J., Mourgues, A., Oyarzún, J.L., Otero, R.A., Torres, T., Hervé, F., 2010. Estuary deposits in the Río Baguales Formation ( Chattian-Aquitanean), Magallanes Province, Chile. Andean Geology 37: 329-344.
- Leanza, A. F., 1972. Andes Patagónicos Australes. En: Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba. 689-706.
- Likerman, J., Burlando, J.F., Cristallini, E.O., Ghiglione, M.C. 2013. Along-strike structural variations in the Southern Patagonian Andes: Insights from physical modeling. Tectonophysics 590: 106–120.
- Loomis, H., Walter, R., 1943. Summary of the geology of the Natales - Guido area. ENAP (Informe inédito).
- Macellari, C.E., Barrio, C.A., Manassero, M.J., 1989. Upper Cretaceous to Paleocene depositional sequences and sandstone petrography of southwestern Patagonia (Argentina and Chile). Journal of South American Earth Sciences 2: 223–239.
- Malumián, N., Panza, J. L., Parisi, C., Nañez, C., Caramés, A. y Torre, E., 2000. Hoja Geológica 5172-III-Yacimiento Río Turbio, provincia Santa Cruz, 1:250.000. Boletín del Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, 247: 108p.
- Marensi, S.A., Santillana, S.N., Net, L.I., Rinaldi, C.A., 2000. Facies conglomerádicas basales para la Formación Río Leona al sur del lago Argentino, Provincia de Santa Cruz, Argentina. En: Congreso Latinoamericano de Sedimentología, No. 2 y Reunión Argentina de Sedimentología, No. 8, Resúmenes: 109-110. Mar del Plata.
- Marensi, S.A., Casadío, S., Santillana, S., 2002. La Formación Man Aike al sur de El Calafate (Provincia de Santa Cruz) y su relación con la discordancia del Eoceno medio en la cuenca Austral. Revista de la Asociación Geológica Argentina 57: 341-344.
- Marensi, S.A., Limarino, C.O., Tripaldi, A., Net, L.I., 2005. Fluvial systems variations in the Río Leona Formation: Tectonic and eustatic controls on the Oligocene evolution of the Austral (Magallanes) Basin, southernmost Argentina. Journal of South American Earth Sciences 19: 359-372.

- Marshall, L.G., 1976. Fossil localities for Santacrucian (Early Miocene) Mammals, Santa Cruz Province, Southern Patagonia, Argentina. *Journal of Paleontology* 50 (6): 1129-1142.
- Mercerat, A., 1893. Contribución a la geología de la Patagonia. *Anales de la Sociedad Científica Argentina* 36: 65-103.
- Mpodozis, C., Kay, S. M., 1990. Provincias magmáticas ácidas y evolución tectónica de Gondwana: Andes chilenos (28–31 °S). *Revista Geológica de Chile* 17: 153–180.
- Muñoz, J., 1981. Inclusiones ultramáficas del manto superior en meseta Las Vizcachas, Ultima Esperanza, Magallanes, Chile. *Revista Geológica de Chile* 13/14: 63-78.
- Natland M. L., 1974. A System of stages for correlation of Magallanes basin sediments. *Geological Society of America Bulletin. Memoir*, 139 pp.
- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*, 2<sup>da</sup> edición, Wiley & Sons, 419 pp.
- Otero, R.A., Soto-Acuña, S., Yuri-Yañez, R., 2012. Primer registro de tortugas y cocodrilos en el Eoceno de Magallanes. *Actas del XIII Congreso Geológico Chileno*: 722-724.
- Otero, R.A., Oyarzún, J.L., Soto-Acuña, S., Yury-Yañez, R., Gutierrez, N., Le Roux, J.P., Torres, T, Hervé. F., 2013. Neoselachians and chimaeriformes (chondrichthyes) from the latest Cretaceous-Paleogene of Sierra Baguales, southernmost Chile. Chronostratigraphic, paleobiogeographic and paleoenvironmental implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 48(0): 13-30.
- Parras, A., Dix, G.R., Griffin, M. 2012. Sr-isotope chronostratigraphy of Paleogene-Neogene marine deposits: Austral Basin, southern Patagonia (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 37: 122-135.
- Pearson, N.J., Mángano, M.G., Buatois, L.A., Casadío, S., Rodríguez M., 2012. Ichnology, sedimentology, and sequence stratigraphy of outer-estuarine and coastal-plain deposits: Implications for the distinction between allogenic and autogenic expressions of the *Glossifungites* Ichnofacies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 333: 192–217.
- Pearson, N.J., Mángano, M.G., Buatois, L.A., Casadío S., Raising, M.R., 2013. Environmental variability of *Macaronichnus* ichnofabrics in Eocene tidal-embayment deposits of southern Patagonia, Argentina. *Lethaia* 46: 341–354.
- Piatnitzky, A., 1938. Observaciones geológicas en el oeste de Santa Cruz (Patagonia). *Boletín de Informaciones Petroleras* 165: 45-85.
- Quensel, P. D., 1913. Die quarzporphyr und porphyroid-formation in Sudpatagonien und Feüerland. *Bulletin of the Geological Institute, Uppsala* 12: 1-40.
- Ramírez, E., 2002. Geotermobarometría en metapelitas de complejos metamórficos de Aysen, Chile. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. 193 pp.
- Reading, H.G. (editor), 2005. *Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy*, 3<sup>ra</sup> edición. Wiley-Blackwell. 704 pp.
- Rodríguez Raising, M., 2010. Estratigrafía secuencial de los depósitos marinos y continentales del Eoceno – Oligoceno temprano de la cuenca Austral, suroeste de la provincia de Santa Cruz. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 203 pp.



- Romans, B.W., Hubbard, S.M., Graham, S.A., 2009. Stratigraphic evolution of an outcropping continental slope system, Tres Pasos Formation at Cerro Divisadero, Chile. *Sedimentology* 56: 737–764.
- Rubilar-Rogers D., Soto-Acuña S., Otero R.A., Yury-Yañez R., 2013. First evidence of a dinosaur from Upper Cretaceous levels of the Dorotea Formation, Sierra Baguales, southernmost Chile. *Bolletino dei Geofisica Teorica ed Applicata* 54 (2): 345.
- Salvador, A., 1994, editor, *International Stratigraphic Guide: A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure*. 2<sup>da</sup> edición, International Union of Geological Sciences, Geological Society of America, Boulder, Colorado. 214 pp.
- Sernageomin, 2003. *Mapa Geológico de Chile: Versión Digital*. Servicio Nacional de Geología y Minería, *Publicación Geológica Digital* 4.
- Smith, C. 1977. *Sedimentology of the Late Cretaceous (Santonian–Maastrichtian) Tres Pasos Formation, Ultima Esperanza District, southern Chile*. Tesis de maestría, University of Wisconsin, Madison, WI. 129 pp.
- Steinmann, G., 1883. *Reisenotizien aus Patagonien*. *Neue jahrbuch für mineralogie, geologie und paläontologie* 2: 255 - 258.
- Thomas, C., 1949. *Geology and petroleum exploration in Magallanes province, Chile*. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 33: 1555-1578.
- Thomson, S. N., Hervé, F., 2002. New time constraints for the age of metamorphism at the ancestral Pacific Gondwana margin of southern Chile. *Revista Geológica de Chile* 29: 255–271.
- Torres, T., Cisterna, M., Llanos, A., Galleguillos, H., Le Roux, J.P., 2009. Nuevos registros de *Nothofagus* Bl. en Sierra Baguales, Última Esperanza, Patagonia, Chile. XII Congreso Geológico Chileno, Santiago, Chile. *Extended Abstracts* S12-S19.
- Vizcaíno, S.F., Kay, R.F., Bargo, M.S. 2012a. Background for a paleoecological study of the Santa Cruz Formation (late Early Miocene) on the Atlantic Coast of Patagonia. In *Early Miocene Paleobiology in Patagonia: High-Latitude Paleocommunities of the Santa Cruz Formation* (Vizcaíno, S.F., Kay, R.F., Bargo, M.S., editors). Cambridge University Press: 1-22. Cambridge.
- Wilckens, O., 1906. *Die meeresablagerungen der kreideund tertiärformation in Patagonia*. *Neues jahrbuch für minerlaogie, geologie und paloentologie*, 21: 98-195.
- Wilckens, O., 1907a. *Die Lamellibranchiaten, Gastropoden u.s.m.der oberekriede Südpatagonien*. *Berichte der natur gessellschaft Freiburg i. B. Br 15: 91-166* Freiburg, Alemania.
- Wilckens, O., 1907b. *Euläterungen zu R. Hauthals geologische skizze des gebietes zwischen dem lago Argentino und dem Seno de la Ultima Esperanza (Südpatagonien)*. *Berichte der natur gessellschaft Freiburg i. B. Br 15: 75-97* Freiburg, Alemania.
- Wilson, T. J., 1991. Transition from back-arc to foreland basin development in the southernmost Andes: Stratigraphic record from the Última Esperanza District, Chile. *Geological Society of America Bulletin* 103: 89–111.
- Windhausen, A., 1931. *Geología Argentina*. 2<sup>da</sup> parte. *Geología histórica y regional del territorio Argentino*. Editorial J. Peuser, II: 1-645, Buenos Aires.

- Yabe, A., Uemura, K., Nishida, H., Yamada, T., 2006. Geological notes on plant megafossil localities at Cerro Guido, Ultima Esperanza, Magallanes region, Chile. En: Post-Cretaceous floristic changes in Southern Patagonia, Chile. Nishida, H., (editor), 5-27.
- Zambrano, J.J., Urien, C.M., 1970. Geological outline of the basins in Southern Argentina and their continuation off the Atlantic shore. *Journal of Geophysical Research* 75 (8): 1363-1396.