



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**REGISTRO DE MACROFLORA Y CARACTERIZACIÓN
PALEOAMBIENTAL Y PALEOCLIMÁTICA DE LA
FORMACIÓN SAN JOSÉ EN PAMPA CASTILLO.
PARQUE NACIONAL PATAGONIA, REGIÓN DE AYSÉN
DEL GENERAL CARLOS IBÁÑEZ DEL CAMPO, CHILE.**

Memoria para optar al Título de Geóloga

Javiera Jashmila Nazar Córdova

Profesora Patrocinante: MSc. Sylvia Cecilia Palma Heldt
Profesional Guía: Dr.(c) Juan Enrique Bostelmann Torrealba
Profesores Comisión: Dr. Patricio Gerardo López Sepúlveda
Dr. Mauricio Esteban Espinoza Vargas

Concepción, 2024

*“Not all those who wander are lost...
Home is now behind you, the World is ahead!”*

- J.R.R. Tolkien

ÍNDICE

Página

RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. FORMULACIÓN DE PROYECTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS	2
1.4. MÉTODO DE TRABAJO	3
1.4.1. Etapa de Gabinete I.....	3
1.4.2. Etapa de Terreno.....	4
1.4.3. Etapa de Gabinete II.....	4
1.5. CLIMA	6
1.6. TRABAJOS ANTERIORES	7
1.7. AGRADECIMIENTOS	9
2. GEOMORFOLOGÍA	11
2.1. GENERALIDADES	11
2.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	11
2.3. GEOMORFOLOGÍA LOCAL	13
3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	14
3.1. GENERALIDADES	14
3.2. PALEOZOICO	16
3.2.1. Complejo Metamórfico Andino Oriental.....	16
3.3. MESOZOICO	17
3.3.1. Formación Ibáñez.....	17
3.3.2. Formación Toqui.....	17
3.3.3. Batolito Norpatagónico.....	18
3.4. CENOZOICO	19
3.4.1. Formación Ligorio Márquez.....	19
3.4.2. Formación San José.....	20
3.4.3. Formación Guadal.....	21
3.4.4. Formación Santa Cruz.....	22
3.5. PLEISTOCENO – HOLOCENO	23
3.5.1. Secuencias y Centros Volcánicos Parcialmente Erodados.....	23
3.5.2. Depósitos Glaciales.....	23
3.5.3. Depósitos Cuaternarios.....	23
3.5.4. Depósitos Volcánicos.....	23

3.6. RASGOS ESTRUCTURALES	24
3.6.1. Generalidades	24
3.6.2. Deformación Frágil	25
3.6.3. Deformación Dúctil	25
3.6.4. Evolución Tectónica	26
4. ESTRATIGRAFÍA FORMACIÓN SAN JOSÉ	29
4.1. GENERALIDADES	29
4.2. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	30
4.2.1. Simbologías de Columnas	30
4.2.1.1. Columna Oeste (Vidal, 2024).....	30
4.2.1.2. Columnas Localidad N°2 y N°3.....	31
4.2.2. Columna Oeste	32
4.2.3. Columnas Detalladas	33
4.2.3.1. Columna Localidad N°2.....	33
4.2.3.2. Columna Localidad N°3.....	35
4.3. ANÁLISIS DE FACIES	40
4.3.1. Generalidades	40
4.3.2. Litofacies	40
4.3.3. Elementos Arquitecturales	43
4.3.3.1. Elemento Arquitectural FF.....	44
4.3.3.2. Elemento Arquitectural LV.....	44
4.3.3.3. Elemento Arquitectural LA.....	44
4.3.3.4. Elemento Arquitectural CH.....	45
4.3.4. Asociaciones de Litofacies	45
4.3.4.1. AF1 – Planicies de Inundación.....	45
4.3.4.2. AF2 – Depósitos de Canales.....	45
5. PALEOBOTÁNICA	46
5.1. GENERALIDADES	46
5.1.1. Trabajos Anteriores	46
5.1.2. Localidades de Colecta	47
5.2. DIVISIÓN MONIOPHYTA	48
5.2.1. Clase Equitopsida	48
5.2.1.1. Orden Equisetales.....	48
5.2.2. Clase Filicopsida	50
5.2.2.1. Morfotipos.....	50
5.2.2.1. Taxonomía.....	54
5.3. DIVISIÓN MAGNOLIOPHYTA	55
5.3.1. Clase Magnoliopsida	56
5.3.1.1. Orden Apiales.....	56
5.3.1.2. Orden Fagales.....	57
5.3.1.3. Orden Gentianales.....	61
5.3.1.4. Orden Laurales.....	63
5.3.1.5. Orden Magnoliales.....	65

5.3.1.6. Orden Malvales.....	66
5.3.1.7. Orden Myrtales.....	69
5.3.1.8. Orden Sapindales.....	72
5.3.1.9. Orden Dilleniales.....	73
5.3.2. Clase Liliopsida.....	77
5.3.2.1. Orden Poales.....	77
6. DISCUSIÓN.....	79
6.1. RELACIONES PALEOFLORÍSTICAS.....	79
6.2. AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN.....	81
6.3. IMPLICANCIAS PALEOCLIMÁTICAS.....	81
7. CONCLUSIONES.....	83
8. REFERENCIAS.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación y accesos de la zona de estudio.....	3
2. Mapa de unidades geomorfológicas.....	12
3. Mapa de elevación digital.....	13
4. Mapa geológico de la parte central de la Región de Aysén.....	15
5. Mapa de lineamientos.....	24
6. Simbología de Columna Oeste.....	30
7. Simbología de Columnas Detalladas.....	31
8. Columna Oeste.....	32
9. Columna Localidad N°2.....	33
10. Parte 1: Base Columna Localidad N°3.....	35
Parte 2: Techo Columna Localidad N°3.....	36
11. Localidades de colecta en sector El Furioso.....	47
12. Orden Equisetales.....	49
13. Orden Filicopsida.....	53
14. Orden Apiales.....	57
15. Orden Fagales.....	60
16. Orden Gentianales.....	62
17. Orden Laurales.....	64
18. Orden Magnoliales.....	65
19. Orden Malvales.....	66

20.	Orden Malvales.....	68
21.	Orden Myrtales.....	71
22.	Orden Sapindales.....	73
23.	Orden Dilleniales.....	76
24.	Orden Poales.....	78

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto		Página
1.	Columna Oeste.....	29
2.	Tramos pertenecientes a Columna Localidad N°2.....	34
3.	Tramos pertenecientes a Columna Localidad N°3.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1.	Cuadro resumen de litofacies definidas por Miall (1985; 2006).....	40
2.	Cuadro resumen de elementos arquitecturales propuestos por Miall (1985; 2006)....	43
3.	Cuadro comparativo de paleofloras.....	79
	Continuación cuadro comparativo de paleofloras.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1.	Mapa Geológico de la sección central de la Región de Aysén.....	97
2.	Columna Oeste.....	98
3.	Columna Localidad N°3.....	99
4.	Morfotipos y venaciones de los helechos.....	100
5.	Detalles de los helechos.....	101
6.	Fronda de helecho Thelypteridaceae.....	102

RESUMEN

La geología de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo se dispone paralelamente al margen continental en tres dominios principales. En el dominio occidental se dispone el Basamento Metamórfico del Triásico Superior, asociado a un complejo de subducción. El dominio central comprende el Batolito Norpatagónico (Jurásico-Mioceno) y rocas volcánicas (Mioceno-Reciente). Y en el dominio oriental, emplazado en la precordillera, se encuentran rocas volcánicas con intercalaciones sedimentarias (Mesozoico-Cenozoico).

La zona de estudio se ubica en la parte central de la región, al sur del Lago General Carrera. Las rocas más antiguas corresponden al Basamento Metamórfico, el cual se divide en el Complejo Metamórfico Los Chonos (CMC) en la costa y el Complejo Metamórfico Andino Oriental (CMAO) en la precordillera. Durante el Jurásico tardío y Cretácico temprano, ocurrieron erupciones volcánicas que conformaron la Formación Ibáñez. Una transgresión marina somera dio origen a la Cuenca de Aysén y al Grupo Coyhaique, cuya base está representada por la Formación Toqui. El Batolito Norpatagónico intruyó episódicamente desde el Jurásico tardío hasta el Pleistoceno. Durante el Paleoceno superior y el Eoceno-Oligoceno, debido a una constante erosión, se depositaron las formaciones fluviales Ligorio Márquez y San José. La subducción de la dorsal Aluk-Farallón y un evento extensional causaron la transgresión marina del Mar Patagónico en el Oligoceno tardío-Mioceno temprano, lo que conllevó a la depositación de la Formación Guadal. El tectonismo transpresivo del Mioceno temprano provocó el alzamiento andino y la sedimentación de la Formación Santa Cruz. Finalmente, hasta finales del Pleistoceno, ocurrieron múltiples glaciaciones que conllevaron a la formación de depósitos glaciares.

La Formación San José, descrita por Flint y otros (1994) corresponde a una unidad sedimentaria continental, sobryace en concordancia a la Formación Ligorio Márquez y subyace en paraconformidad a la Formación Guadal. Vidal (2024) en su Memoria de Título elabora columnas estratigráficas de la Formación San José, las cuales se caracterizan por estar compuestas por conglomerados, areniscas y limolitas con intrusiones locales de filones afaníticos, además de poseer niveles con registro paleobotánico. En la presente Memoria de Título, se detallan dos secciones estratigráficas con un alto contenido paleobotánico, identificadas como Columna Localidad N°2 y Columna Localidad N°3. Estas columnas fueron sometidas a un análisis de litofacies, lo que dio paso a describir dos asociaciones de facies correspondientes a planicies de inundación (AF1) y depósitos de canales (AF2).

Con respecto a los al registro paleobotánico, durante el levantamiento de las cartas geológicas “Geología del área Puerto Guadal-Puerto Sánchez” y “Área Oriental de las Hojas Cochrane y Villa O’Higgins” se identificaron fósiles de plantas para la Formación San José. Troncoso (comunicación escrita, 2003 en De la Cruz y Suárez, 2006) mencionó taxones como *Omphalea patagonica*, *Goniopteris patagoniana*, *Cassia argentinensis*, entre otros, sin proporcionar códigos, ilustraciones ni descripciones. Este estudio de flora es, hasta la fecha, el único disponible para la formación. Sin embargo, el hallazgo de niveles con abundante flora fósil en el presente trabajo ha favorecido la recolección de numerosos especímenes en un estado óptimo de preservación, destacando algunos que se encontraban completos, preservando así ciertos caracteres diagnósticos. El análisis de morfología foliar ha sido útil para reconocer la presencia de distintas clases en la Formación San José, tales como Equitopsida (*Equisetum* sp.), Filicopsida (Thelypteridaceae), Magnoliopsida (*Nothofagus*, *Cupania*, *Myrcia*, *Sterculia*, entre otros) y Liliopsida (cf. *Typha* sp.).

En el presente trabajo se concluye que la Formación San José revela una arquitectural fluvial compuesta por llanuras de inundación, macroformas de acreción lateral y canales, lo que sumado a la abundante presencia de improntas fósiles, permite inferir un ambiente de río anastomosado. Se corrobora la presencia del taxón *Goniopteris patagoniana* y se reportan dos nuevas especies de helechos para la Formación San José: *Thelypteris grandis* var. *Kunzeana* y *Cyclosorus interruptus*. Al poseer una paleoflora con distintas distribuciones, se sugiere una paleoflora mixta, con componentes tanto tropicales-subtropicales como australes y antárticos. El ensamble paleoflorístico, compuesto por elementos acuáticos, palustres y boscosos, indican que la macroflora fue depositada simultáneamente en el mismo lugar, evidenciando una mixtura tafonómica en la Formación San José.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. FORMULACIÓN DE PROYECTO

El Proyecto de Memoria se encuentra inmerso en el marco de investigación (código BIP N°40007715-0) referido a la evolución tectónica y estratigráfica del antepaís cenozoico de Patagonia y sus efectos sobre la biodiversidad y transformación de los ecosistemas australes, a cargo del Dr.(c) Juan Enrique Bostelmann.

Aysén cuenta con una diversidad geológica y paleontológica que, debido al clima extremo y dificultades de acceso, no ha sido posible estudiar en su totalidad. No obstante, en este último tiempo se han podido llevar a cabo diversas campañas con el fin de esclarecer el pasado geológico de la región y aportar al conocimiento científico.

A ~28 km al SE de Puerto Guadal se encuentra el Parque Nacional Patagonia, creado oficialmente el 11 de diciembre del año 2018, el cual alberga diversas formaciones geológicas de edades mesozoicas y cenozoicas. En detalle, en la localidad de Pampa Castillo, sector El Furioso, se registra una serie de unidades del Cenozoico bien expuestas, algunas de ellas con abundante contenido fosilífero como las formaciones Santa Cruz, Guadal y San José.

La Formación San José cuenta con un abundante registro botánico del que se tiene escasa información. A la fecha, no existen estudios paleobotánicos de aquella, sólo se tiene registro de su presencia a través de un listado elaborado por Troncoso (comunicación escrita, 2003) en la “Carta Geológica del área Puerto Guadal-Puerto Sánchez, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo” elaborada por De la Cruz y Suarez en 2006.

El presente trabajo tiene como fin reportar la presencia de múltiples improntas foliares, destacando angiospermas magnoliopsidas, entre ellas, pertenecientes al género *Nothofagus*, junto a liliopsidas, equisetos y helechos. Además de elaborar secciones estratigráficas detalladas de los niveles fosilíferos, lo que permitirá la interpretación paleoambiental y paleoclimática de la Formación San José.

El costo de transporte en barcazas, alimentación de terreno y estadía en Puerto Guadal se financió de manera particular. El combustible y camioneta utilizados para el transporte hasta el área de estudio fueron proporcionados por la Universidad Mayor. La estadía en Puerto Varas y Coyhaique fue patrocinada por los profesionales Raúl Ugalde y Enrique Bostelmann respectivamente.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Contribuir al conocimiento geológico de la Formación San José en el área de Pampa Castillo, a través del registro paleobotánico.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Recolección, identificación y descripción de registro paleobotánico de la Formación San José.
- Clasificación taxonómica de la paleoflora.
- Comparación de los fósiles identificados con paleofloras de la Patagonia chilena y argentina.
- Análisis estratigráfico y descripción de litofacies para los niveles portadores.
- Caracterización de paleoambiente y paleoclima de la Formación San José.

1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS

La zona principal de estudio corresponde al sector El Furioso, ubicado entre las coordenadas $46^{\circ}58.526'/47^{\circ}0.827'$ S y $72^{\circ}22.134'/72^{\circ}27.453'$ O, en la localidad de Pampa Castillo dentro de las dependencias del Parque Nacional Patagonia, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, Chile.

Comprende las cartas geológicas “Geología del área Puerto Guadal-Puerto Sánchez” (De la Cruz y Suárez, 2006) de escala 1:100.000 y “Área Oriental de las Hojas Cochrane y Villa O’Higgins” (De la Cruz y otros, 2004) de escala 1:250.000.

Para acceder al sitio de interés (Fig. 1) se debe salir de Coyhaique, capital regional, a la cual es posible llegar vía terrestre o aérea desde Santiago de Chile. Se debe seguir la Carretera Austral (Ruta 7) en dirección SW. Luego, a ~7 km del puente General Carrera, se debe tomar la Ruta CH-265 hacia Puerto Guadal. Posteriormente, a través del camino La Mina El Furioso, se accede a Pampa Castillo y a los afloramientos estudiados.

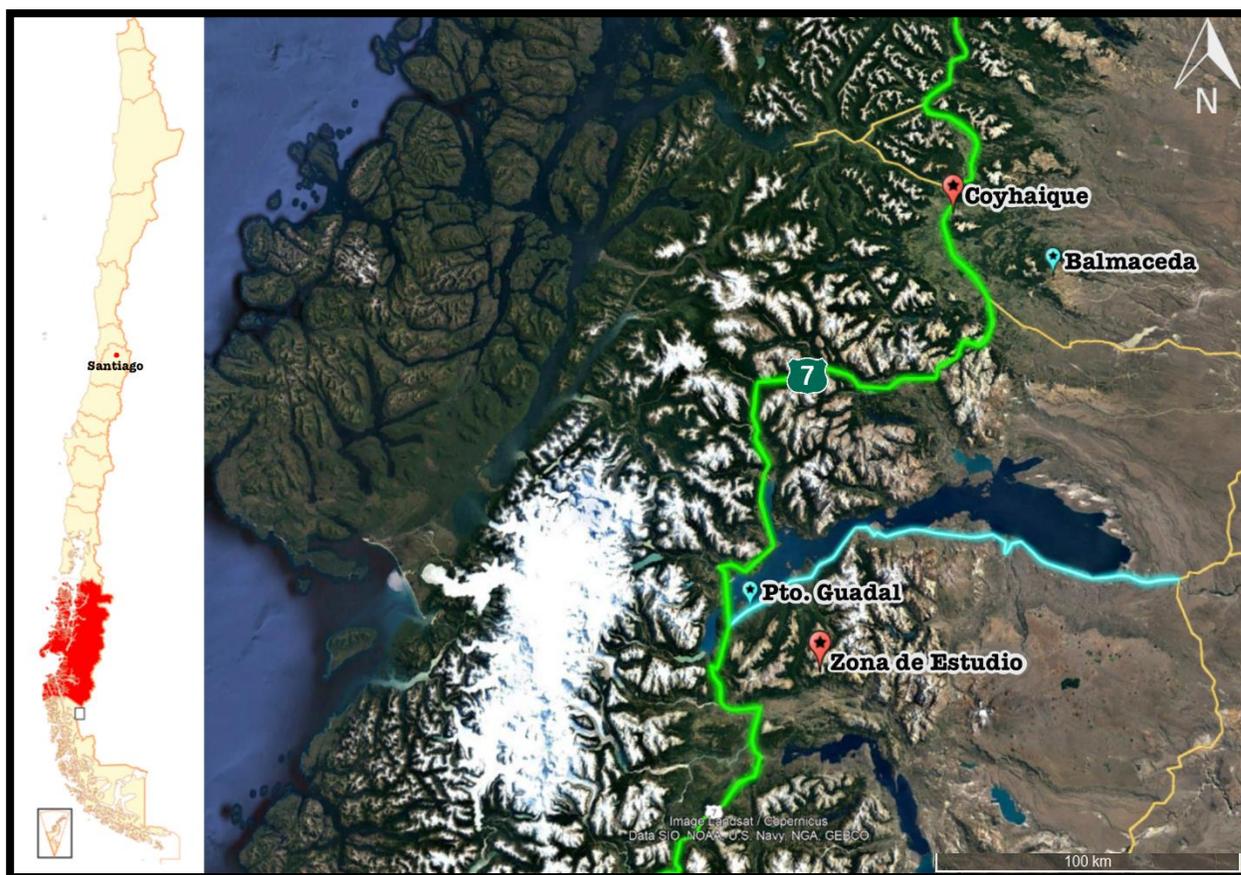


Figura 1: Mapa de ubicación y accesos de la zona de estudio. Se observan los puntos principales como Coyhaique, Balmaceda, Puerto Guadal y la zona de estudio. Además, la Ruta 7 se indica en color verde y la Ruta CH-265 en color calipso.

1.4. MÉTODO DE TRABAJO

1.4.1. Etapa de Gabinete I

Etapa caracterizada por la recopilación bibliográfica de artículos, libros y cartas geológicas que contemplen la zona de estudio y sus alrededores, con el fin de comprender los procesos geológicos del área y tener una visión general de las formaciones presentes al momento de salir a terreno, centrándose en publicaciones, tanto de Chile como de Argentina, que ahonden en flora del

Cenozoico. Además, se elaboraron mapas geológicos con la ayuda de imágenes satelitales e interpretación fotogeológica y mapas guías de terreno con puntos *Global Positioning System* (GPS) de campañas anteriores.

1.4.2. Etapa de Terreno

Realizada entre el 22 de marzo y el 4 de abril del año 2022. Constó de reconocimiento e identificación de las formaciones del sector. Se realizó un levantamiento estratigráfico detallado en sectores fosilíferos de la Formación San José. Se registraron observaciones sobre la litología, estructuras sedimentarias, disposición de las capas y contenido paleobotánico. Se extrajeron múltiples muestras en cinco localidades y se tomaron diversas fotografías, tanto de los afloramientos de gran y pequeña escala, como de los diversos fósiles hallados.

1.4.3. Etapa de Gabinete II

Llevada a cabo entre los años 2022 y 2023 en el Departamento Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción. Se comenzó con la creación de una planilla Excel con las 230 rocas colectadas en terreno, especificando si la muestra poseía ejemplares de helechos, angiospermas magnoliopsidas, angiospermas liliopsidas, equisetos u otra estructura vegetal indeterminada. En la misma planilla se registró también la cantidad de ejemplares fósiles, punto GPS, fecha en que fueron colectadas las muestras, observaciones preliminares y códigos de fotografías tomadas.

Se llevó a cabo un trabajo comparativo preliminar entre los fósiles colectados y los ejemplares presentes en el Herbario CONC de la Universidad de Concepción, donde se realizaron las primeras observaciones sobre la flora e ideas generales sobre una eventual clasificación. Al principio, se trabajaron por separado todos los helechos, estudiando la morfología según Tyron (1960), agrupando los especímenes en 5 morfotipos y clasificándolos preliminarmente dentro de la familia Thelypteridaceae. Esta parte del trabajo fue presentada en el II Congreso Chileno de Paleontología, el cual tuvo lugar en San Vicente de Tagua-Tagua.

Posteriormente, se realizó un análisis de morfología foliar de las improntas de angiospermas magnoliopsidas utilizando el “Manual de Arquitectura Foliar” (Ellis y otros, 2009) para luego

comparar las diagnosis con las de flora, tanto paleógena como actual, encontrada en artículos, libros y sitios webs botánicos oficiales, con el fin de clasificar taxonómicamente los ejemplares.

Las muestras analizadas corresponden a ejemplares colectados en las campañas llevadas a cabo entre los años 2022 y 2023, material inédito que abarca los códigos de colección desde MURAY.PB.043 hasta MURAY.PB.245 y que se encuentra almacenado en las dependencias del Museo Regional de Aysén con la autorización acorde a la Ley N°17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas de 1970. No obstante, durante la primera parte de la elaboración de esta Memoria de Título, las muestras se mantuvieron almacenadas en las dependencias del Departamento Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción.

Las improntas fueron fotografiadas en un estudio fotográfico portátil de luz LED *Softbox* con un sistema de cámara dual de 12 Mpx, para posteriormente ser trabajadas en *ProCreate* y *Canva*.

Se llevó a cabo un estudio de facies sedimentarias en los niveles fosilíferos de la Formación San José. Para esto se levantaron dos columnas en las que se realizaron descripciones litológicas, estratigráficas y paleobotánicas por tramo. Posteriormente, cada tramo fue analizado para determinar asociaciones de facies, las cuales son comparadas con modelos sedimentarios existentes. La información estratigráfica fue procesada mediante los programas *SedLog* e *InkScape*, lo cual permitió crear una proyección digital de las sucesiones que comprenden el material fosilífero a través de columnas estratigráficas. La descripción y clasificación de las litofacies fue llevada a cabo según Miall (2006) para ambientes fluviales, al igual que los elementos arquitecturales respectivos.

Finalmente, se integra la información estratigráfica, litológica y paleobotánica con el fin de establecer condiciones sobre el paleoclima y paleoambiente para el Eoceno?-Oligoceno en el margen suroccidental de la Patagonia, apoyándose con artículos de la zona y relacionados.

1.5. CLIMA

La región se caracteriza por un clima oceánico de bajas temperaturas, con abundantes precipitaciones, fuertes vientos y gran humedad. Sin embargo, las características propias del relieve provocan una diferencia entre el sector occidente, dominado por islas y archipiélagos, y el sector oriental de la Cordillera Patagónica. Es así como se pueden distinguir cinco zonas (Hepp, 2014):

- **Zona Litoral o Insular:** corresponde a la zona más occidental de la región, asociada a la extensa red de islas y archipiélagos en la zona de canales y fiordos patagónicos. Clima riguroso, predominantemente templado húmedo litoral, con precipitaciones muy intensas.
- **Zona Húmeda:** corresponde a la zona continental de la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes. Clima templado húmedo costero, con elevadas precipitaciones.
- **Zona Intermedia:** corresponde a la zona de la vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes, ocupando laderas montañosas y valles que se desprenden hacia el este de la región. El clima depende de la altitud, las zonas más altas poseen un clima andino boreal y las más bajas un clima templado húmedo intermedio.
- **Zona Esteparia:** corresponde a los sectores orientales de la región, en zonas limítrofes con Argentina. Predomina el clima de estepa fría, sin embargo, en zonas más altas puede tener un clima andino boreal.
- **Zona de Microclima:** Limitada a pequeñas localidades en las costas de los lagos General Carrera y Cochrane. Clima templado seco estival.

1.6. TRABAJOS ANTERIORES

La geología de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo ha sido estudiada por diversos autores, de manera particular, en la zona de estudio destacan los trabajos llevados a cabo por los siguientes autores:

Heim (1940) describe por primera vez la Formación Meseta Guadal como las rocas marinas fosilíferas expuestas al sureste de la localidad de Puerto Guadal. Posteriormente es denominada Formación Guadal por Niemeyer y otros (1975).

Niemeyer y otros (1975) definen la sucesión de rocas volcánicas de carácter esencialmente silíceo como Formación Ibáñez. Además, definen la Formación Río Zeballos en la frontera de Chile con Argentina y al sur de Chile Chico, la cual más adelante es denominada Formación Santa Cruz por De la Cruz y otros (2003).

Haller y Lapido (1980) reúnen bajo el nombre de Grupo Coyhaique a las unidades sedimentarias titono-neocomianas que afloran en la Cordillera Patagónica, cuya base correspondería a la Formación Toqui.

Nishida y otros (1988, 1990) examinaron el ensamble paleobotánico de la Formación Ligorio Márquez, sin proporcionar figuras ni descripciones de especies.

Hervé (1993) denomina Complejo Metamórfico Andino Oriental (CMAO) a las rocas metamórficas previas al Jurásico Superior, expuestas en la región centro-oriental de la Cordillera Patagónica, cerca del margen este del Batolito Patagónico.

Flint y otros (1994) definen la Formación San José en el sector del Río Las Dunas, interpretando depósitos de abanico aluvial en una llanura de inundación como ambiente de sedimentación.

Suárez y De la Cruz (1994) definen la Formación Toqui como una unidad sedimentaria y piroclástica con fósiles marinos, bien expuesta en el distrito de la mina Toqui.

Pankhurst y otros (1999) estudian al Batolito Norpatagónico, desde el punto de vista geoquímico y geocronológico, y establecen relaciones entre los episodios magmáticos y eventos tectónicos regionales a través de un modelo petrogenético.

Suárez y otros (2000) definen la Formación Ligorio Márquez, expuesta en el área sur del Lago General Carrera.

Troncoso y otros (2002) elaboran un manuscrito sobre la paleoflora de Formación Ligorio Márquez, postulando una afinidad con paleofloras de la Cuenca de Arauco y estableciendo una edad probable de Paleoceno superior.

De la Cruz y otros (2003) realizan una descripción de las formaciones presentes en el área de estudio, considerando la estratigrafía, petrología y presencia de fósiles.

De la Cruz y otros (2004) describen y mapean la geología del área oriental de las hojas Cochrane y Villa O'Higgins, a escala 1:250.000.

Troncoso (comunicación escrita, 2003 en De la Cruz y otros, 2004) elabora un listado con especímenes paleobotánicos de la Formación San José, el cual es caracterizado por la ausencia y/o escasa representación del género *Nothofagus*. Esto, junto a poseer flora similar a la de Río Pichileufú, ha permitido asignar la formación al Eoceno inferior.

De la Cruz y Suárez (2006) estudian la geología de Puerto Guadal-Puerto Sánchez, elaborando una Carta Geológica y un mapa a escala 1:1.000.000. La caracterización, datación y asociación con formaciones contemporáneas, sobre todo de Argentina, permitieron relacionarlas con el modelo geotectónico regional Meso-Cenozoico.

Yabe y otros (2006) describen la sucesión estratigráfica de la Formación Ligorio Márquez alrededor de la mina homónima, así como las litofacies de las localidades fosilíferas.

Okuda y otros (2006) informan sobre el ensamblaje de fósiles de la formación Ligorio Márquez.

Hinojosa y otros (2006) proporcionan un análisis fisonómico del conjunto de megafósiles botánicos para la Formación Ligorio Márquez.

Encinas y otros (2018) realizan estudios geocronológicos (U-Pb y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$), de procedencia, estratigráficos, sedimentológicos y geoquímicos de los depósitos sedimentarios y volcánicos del Cenozoico que afloran en Pampa Guadal y Pampa Castillo.

1.7. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Juan Enrique Bostelmann por aceptarme en su equipo de investigación y al proyecto “Transferencia de Fomento Productivo de los Recursos Geológicos de la Región de Aysén” código BIP N°40007715-0, que permitió la realización de este trabajo. Asimismo a Raúl Ugalde y a la Universidad Mayor que financió parte del terreno llevado a cabo el año 2022.

A mi querida profesora Sylvia, la responsable de guiarme en el camino de la Paleontología y la Paleobotánica en mi casa de estudios. Quien en su momento aceptó ser mi profesora tutora como capital de gracias al Santuario de Schoenstatt y desde entonces me acompañó en el recorrido y elaboración del escrito, brindándome una seguridad y tranquilidad cuando más lo necesitaba.

A Alicia Marticorena por tener la amabilidad de enseñarme y dejar analizar los ejemplares del Herbario de la Universidad de Concepción, abriéndome las puertas de su oficina para comparaciones y conversaciones tanto sobre plantas como de la vida. A los profesores Patricio López y Mauricio Espinoza por aceptar el ser parte de la comisión de mi Memoria de Título, por sus correcciones pertinentes y amables palabras en sus correos. A Don Iván por permitirme almacenar mi enorme caja de muestras durante el año 2022 en su oficina. A Don Mauricio por su amabilidad, preocupación y simpatía a lo largo de todos estos años. A la Srta. Carolina por cada abrazo y por siempre estar dispuesta a ayudar y escuchar, tanto con los asuntos de carrera como los de la vida misma. Y a todos los profesores y profesoras que me han compartido su conocimiento a lo largo de estos años, quienes tuvieron un rol importantísimo en mi desarrollo como profesional.

También quisiera agradecer de forma especial a mi madre Paula Córdova Molineiro, quien siempre me apoyó y alentó a alcanzar mis sueños, por brindarme la ayuda necesaria para poder adquirir los conocimientos y entrar a estudiar la carrera que he amado desde muy pequeña, a pesar de no poseer la solvencia económica en su momento. Sin su ayuda y resolución no hubiese podido estudiar lo que quería en la gloriosa Universidad de Concepción. A mi abuelita preciosa que siempre confió en mí, quien muchas veces me tenía más fe que yo misma, por su infinito cariño e incondicionalidad. A mi abuelo por todas sus enseñanzas y valiosos consejos sobre cómo actuar y llevar la vida de manera honesta, honrada y correcta. A mi hermanito Benjamín, quien ya no es tan pequeño pero siempre será la luz de mis ojos, por su cariño, palabras y apoyo desde que nació.

A mi papá Alí Nazar por siempre hacerme consciente de que debo hacer lo que me haga feliz y enseñarme mis raíces. A mi tía Mónica Córdova y su esposo Jorge, por acogerme y tratarme como una hija más, por permitirme vivir en su casa y preocuparse hasta el cansancio de que me alimentara bien, por -sin darse cuenta quizás- ser un pilar fundamental en mi desarrollo como artista, al no ponerme jamás alguna traba para los ensayos, galas y trabajos. A cada familiar que en más de una ocasión me brindó su cariño y apoyo en este camino. A mi amado Matías Vergara, por acompañarme en los años más difíciles de la carrera, por ser un pilar fundamental en mi autoconocimiento y desarrollo como personaje y por recordarme siempre lo capaz, talentosa e inteligente que soy. A Pamela Alvarado por su cariño genuino y tratarme como una hija más.

A mis mejores amigos de la vida: Sarella Barrera, Jean Carla Farías y Cristóbal Espic, quienes han sido mis fans #1 y apoyado desde hace ya más de 10 años, por su contención, comprensión, sorpresas, apañe e infinito amor. A mis mejores amigos de la danza: Daniela Gacitúa, Alice Pereira y Diego Flores por ser de las mejores personas que Concepción me haya podido otorgar. Han sido parte fundamental de este proceso, gracias a ustedes hoy me mantengo de pie y mi corazón rebosa de amor y muchos brillos. A cada amistad en Cristo que forjé en Misión País, Trabajo País, Salesiano y Misiones Familiares de Schoenstatt. A cada amistad que la danza me brindó, sobre todo mis hermosuras de Ballroom Dance y SPIORAD de Danzas Irlandesas. A mis amigas de pensión, de Laboratorio Paleontológico y a mis amigos de la carrera, quienes me brindaron recuerdos sumamente lindos, sobre todo los del “Jardín de la Tía Delphie” y quienes conformaron el “G5”, en mi corazón por siempre.

A Susan Fawcett por disposición y observaciones sobre investigación de la familia Thelypteridaceae. A mi kiwi favorito Brent Alloway, por su cariño, ayuda y ponerme en contacto con Enrique Bostelmann para poder tener este tema de memoria. A Fernanda y su amiga, quienes me prestaron el saco de dormir y una mochila de camping para el terreno en Patagonia. A quienes me compraron números de la rifa para poder costear el terreno. Y finalmente, a cada persona que se ha preocupado por mi bienestar, que me ha brindado un abrazo afectuoso y que me ha hecho feliz a lo largo de este recorrido. No ha sido fácil, para nada, pero Dios se ha encargado de mantenerme rodeada de las personas correctas. ¡Todo por amor, con alegría! (PJK).

Delphie.

2. GEOMORFOLOGÍA

2.1. GENERALIDADES

Transformaciones de la corteza terrestre impulsadas por una tectónica dinámica han moldeado durante millones de años la superficie de la Tierra. En Chile, entre las regiones de Tarapacá y Los Lagos, el paisaje está compuesto por tres estructuras geomorfológicas principales: Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera de Los Andes, sin embargo, en Aysén existe una estructura geomorfológica distinta.

2.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

La Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo representa aproximadamente el 14,2% de la superficie de Chile Continental e Insular y es, a la vez, la tercera mayor superficie del país. Nace producto de una dinámica de hundimiento de placas, lo que, en conjunto con una intensa actividad glaciaria, ha dado como resultado un abrupto territorio en donde se distinguen diversas subregiones morfológicas (Börgel, 1983), las cuales de oeste a este son (Fig. 2):

- **Cordillera de la Costa:** afectada por tectónica de hundimiento, sumergida casi por completo.
- **Cordillera Patagónica Insular:** estrechos, canales e islotes de control y de hundimiento tectónico.
- **Llano central:** afectado por tectónica de hundimiento.
- **Cordillera Patagónica de Ventisqueros del Pacífico:** con ríos y fiordos de control tectónico.
- **Cordillera Patagónica Oriental:** la cual se divide en cuatro sectores. Sector 1 con control tectónico de lagos y ríos. Sectores 2, 3 y 4 con control tectónico de fiordos y ríos.

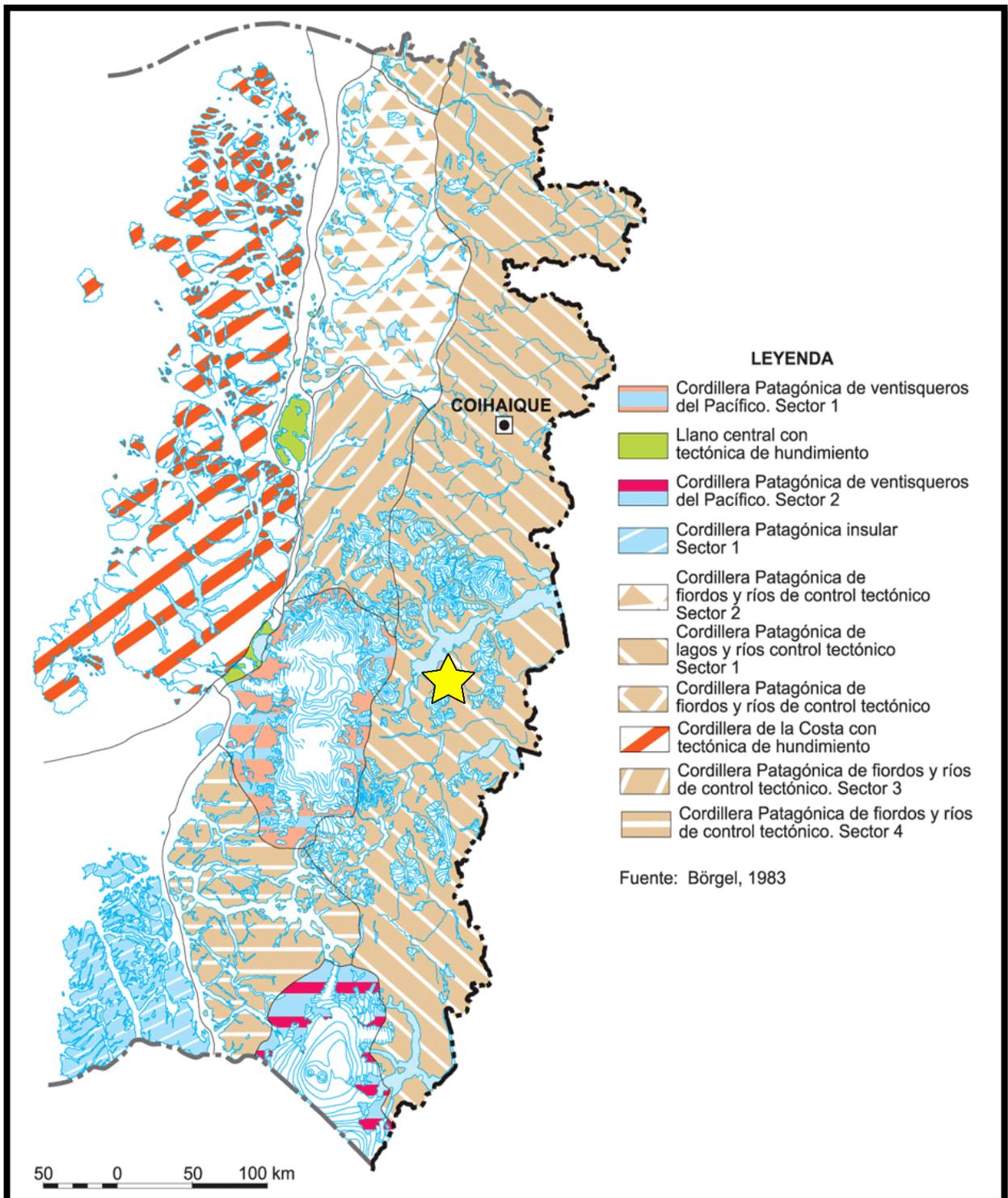


Figura 2: Mapa de unidades geomorfológicas, modificado de Börgel (1983). Fuente: Instituto Geográfico Militar. Se observa la zona de estudio destacada con una estrella amarilla.

2.3. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La zona de estudio (Fig. 3) se encuentra inmersa en la Cordillera Patagónica Oriental, con ríos y lagos de control tectónico (sector 1). Esta unidad geomorfológica se encuentra en territorio continental, mayoritariamente al este de los cordones andinos principales. Presenta abundantes valles de erosión glacial y redes de drenaje características de control tectónico, tales como rectangulares y en bayoneta, además de lagos con formas irregulares, los cuales tienen tendencia a digitaciones en ángulos rectos y bordes costeros rectilíneos (Börgel, 1983). La zona de estudio se caracteriza por una topografía muy accidentada otorgada por lineamientos, intensa erosión glacial y actividad fluvio-glaciar.

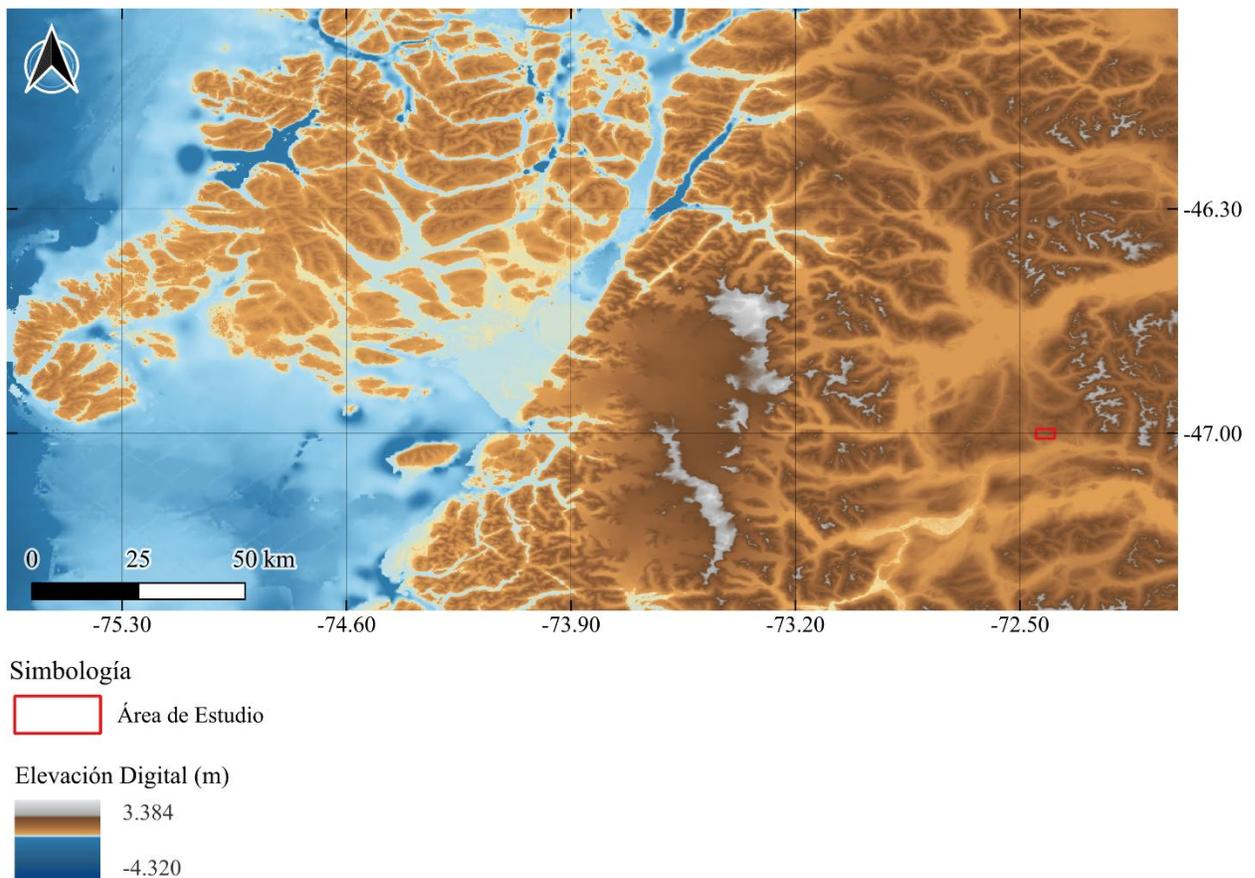


Figura 3: Mapa de elevación digital. Zona de estudio en la parte inferior derecha demarcada con rectángulo rojo, inmersa en la Cordillera Patagónica oriental. Modificado de SERNAGEOMIN (2003).

3. MARCO GEOLÓGICO

3.1. GENERALIDADES

La geología en Aysén (Fig. 4) se encuentra dividida en segmentos paralelos al margen continental, siguiendo los dominios geomorfológicos principales. Niemeyer y otros (1984) indican que la configuración geológica de la Región de Aysén refleja tres dominios bien definidos: el dominio occidental, caracterizado por el Basamento Metamórfico de edad Triásico Superior, el cual corresponde a un complejo de subducción (Hervé y otros, 1981); el dominio central, compuesto por el Batolito Norpatagónico (Jurásico al Mioceno) y rocas volcánicas (Mioceno al Reciente); y finalmente el dominio oriental emplazado en la precordillera, conformado por rocas volcánicas con intercalaciones de rocas sedimentarias de edades que van desde el Mesozoico al Cenozoico.

Hervé y otros (2007) dividen el Basamento Metamórfico regional en dos complejos diferenciados según su localización, edad de protolito, condiciones de metamorfismo y características estructurales: Complejo Metamórfico Andino Oriental (CMAO) y Complejo Metamórfico Los Chonos (CMC).

Durante el Jurásico tardío y Cretácico temprano se produjeron continuas erupciones volcánicas de estratovolcanes, calderas y conos subaéreos que dieron origen a rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición ácida e intermedia de la Formación Ibáñez. A fines del Jurásico tardío hasta finales del Cretácico temprano ocurre una transgresión marina somera que rodea a las estructuras volcánicas sincrónicas dando origen a la Cuenca de Aysén. Esta transgresión es representada por el Grupo Coyhaique (De la Cruz y Suárez, 2008), cuya base corresponde a Formación Toqui. Los plutones del Batolito Norpatagónico, intruyen de manera episódica desde el Jurásico tardío hasta el Pleistoceno a las unidades de origen metamórfico, sedimentario y volcánico sobreyacientes (Pankhurst y otros, 1999 Suárez y otros, 2007).

Durante el Paleoceno superior, como consecuencia de la erosión de los terrenos alzados en el Cretácico Superior, se depositan sedimentos fluviales correspondientes a las formaciones Ligorio Márquez y San José (Suarez y otros, 2000). La subducción de la dorsal Aluk-Farallón, asociada a un evento extensional, habría favorecido la transgresión marina del Mar Patagoniano durante el

Oligoceno tardío-Mioceno temprano desde el Océano Atlántico con la consecuente sedimentación de la Formación Guadal. En el Mioceno temprano, el tectonismo transpresivo ligado a la actividad de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO) provoca el alzamiento andino, pliegues de crecimiento y cambio de sentido de drenaje hacia el este. Durante este periodo de deformación compresiva fueron sedimentados los estratos fluviales sinorogénicos de la Formación Santa Cruz (Carrasco, 2018).

Posteriormente y hasta finales del Pleistoceno, se desarrollaron múltiples glaciaciones, emplazándose decenas de metros de depósitos supraglaciares, subglaciares y proglaciares como producto de la meteorización y erosión de la elevada cadena montañosa andina y las unidades litológicas preexistentes. Finalmente, con el retiro de los campos de hielo, se produjeron caudalosos ríos, lo que indujo a múltiples capturas que cambiaron la dirección del drenaje hacia el oeste (Suárez y otros, 2007).

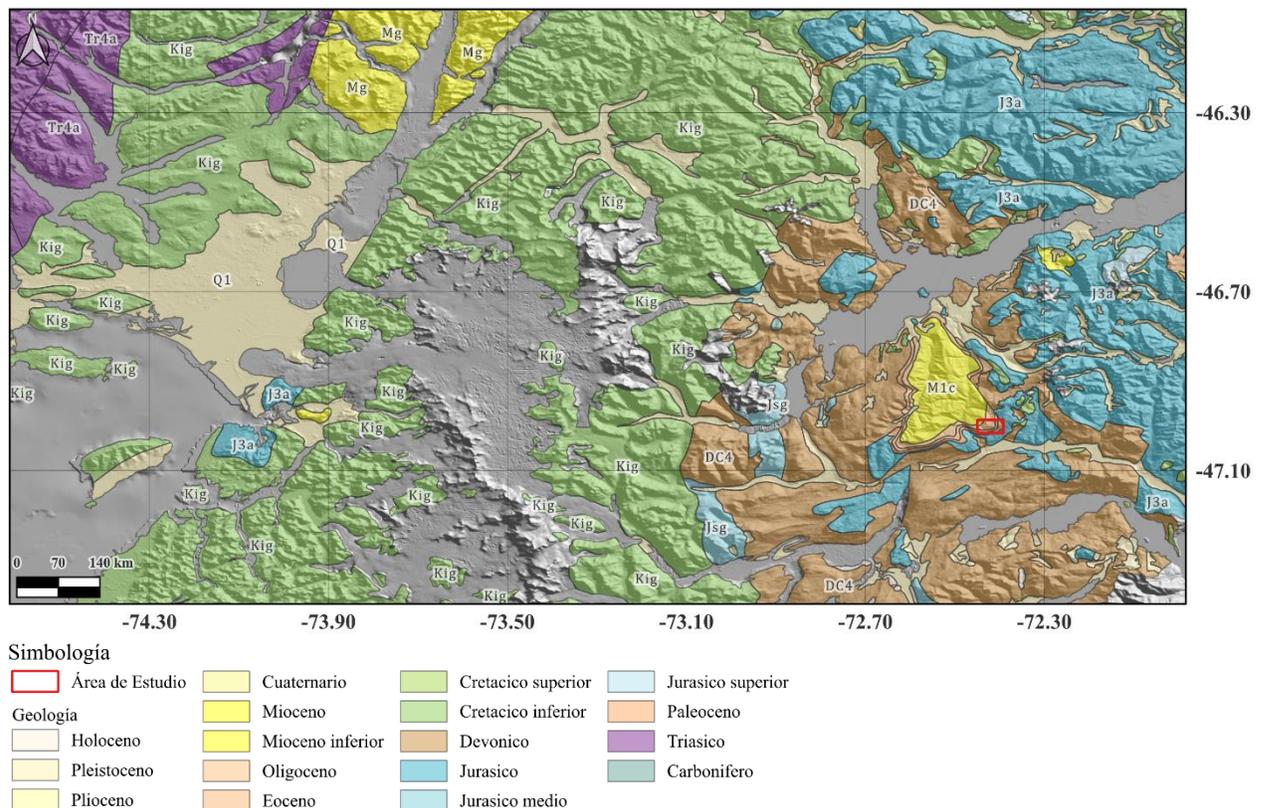


Figura 4: Mapa geológico de la sección central de la Región de Aysén. Zona de estudio en rectángulo rojo. Modificado de SERNAGEOMIN (2003). *Tr4*: Complejo Metamórfico Los Chonos, *DC4*: Complejo Metamórfico Andino Oriental, *J3a*: Formación Ibáñez, *JKlm*: Formación Toqui, *Jsg/K1g/KTg/Eg/Mg*: Batolito Norpatagónico, *PE1c*: Formación Ligorio Márquez, *E1c*: Formación San José, *OM1m*: Formación Guadal, *MP1c*: Formación Santa Cruz, *M1c/M2c/MP3/Pg/Q1/Q3i*: Depósitos del Pleistoceno-Holoceno. Escala 1:700.000.

3.2. PALEOZOICO

3.2.1. Complejo Metamórfico Andino Oriental (DC4; Devónico Superior-Carbonífero Inferior)

Definido por Hervé (1993), aflora en la región centro-oriental de la Cordillera Patagónica, al este del Batolito Patagónico y entre la zona noroccidental del Lago General Carrera (46°S) y el extremo norte del Campo Hielo Sur (49°S).

Compuesto por rocas metamórficas replegadas, mayoritariamente metasedimentarias, las cuales forman parte de un cinturón SW-NE. El protolito corresponde a areniscas, conglomerados, calizas y rocas volcánicas que se habrían desarrollado en un ambiente subácueo, probablemente marino. El bajo grado de metamorfismo varía desde las facies prehnita-pumpeyita hasta esquistos verde (Bell y Suárez, 2000). De manera local, el grado de metamorfismo y deformación disminuye hacia el sur y oeste de Puerto Tranquilo (De la Cruz y Suárez, 2006).

En cuanto al ambiente tectónico, durante décadas diversos autores han considerado que estas rocas metamórficas representarían un complejo acrecionario, es decir, asociadas a un margen activo, sin embargo, esta interpretación ha sido cuestionada, obteniéndose resultados tanto para margen pasivo (p. ej. Augustsson y Bahlburg, 2003) como para un ambiente tectónico mixto (p. ej. Lacassie, 2000).

Las rocas del CMAO subyacen en contacto de inconformidad a las rocas de las formaciones Ibáñez, Ligorio Márquez y Guadal. Además, se encuentran intruidas por rocas plutónicas del Paleozoico (localmente), del Jurásico Superior, del Cretácico y del Mioceno (De la Cruz y Suárez, 2006).

En cuanto a la correlación, por un lado, las rocas que poseen un grado de metamorfismo mayor y se encuentran bastante deformadas se correlacionan con la Formación Río Lácteo, expuesta en Argentina (Leanza, 1972), cuya edad es asignada al Devónico Superior-Carbonífero Inferior (Giacosa y Márquez, 2002). Por otro lado, las rocas que preservan sus estructuras sedimentarias se correlacionan con Formación Bahía La Lacha (Riccardi, 1971), asignada a la misma edad (De la Cruz y Suárez, 2006).

3.3. MESOZOICO

3.3.1. Formación Ibáñez (J3a; Jurásico Superior-Cretácico Inferior):

Definida originalmente por Niemeyer (1975) como un extenso volcanismo continental en un tectonismo extensional evidenciado en toda la Patagonia, cuya localidad tipo se ubica en los alrededores de Puerto Ibáñez (Niemeyer y otros, 1984). Su génesis se relaciona con la segmentación del supercontinente Gondwana a través de plumas mantélicas y fusión cortical (Baker y otros, 1981; Pankhurst y otros, 1998), relacionado con procesos de subducción y contemporáneo a un importante período de *rifting* Jurásico (Baker y otros, 1981; Suárez y otros, 1999; Hervé y otros, 2007).

Se compone de rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición ácida a intermedia con un espesor que varía entre 300 y 1.900 m. En particular, consiste en tobas líticas, brechas volcánicas, tobas de cristales, tobas de lapilli, que predominan al este y flujos de lava andesíticos y riolíticos que se encuentran mayoritariamente hacia el oeste. Hacia el techo se intercala con rocas sedimentarias fosilíferas de origen marino (Niemeyer y otros, 1984; Suárez y otros, 2007).

Sobreyace en discordancia angular a rocas del Complejo Metamórfico Andino Oriental y subyace en concordancia a la Formación Toqui (Niemeyer, 1984; De la Cruz y Suárez, 2006). Se correlaciona con la Formación Lago La Plata en Argentina (Ramos, 1981).

3.3.2. Formación Toqui (JKlm; Cretácico Inferior):

Descrita como la unidad basal del Grupo Coyhaique definido por Haller y Lapidó en 1980. Es definida formalmente por Suárez y De la Cruz (1994) como una unidad sedimentaria y piroclástica con fósiles marinos cuya sección holotipo se encuentra en el distrito minero Toqui, en donde se constituye por un miembro calcáreo basal y dos miembros superiores, uno arenoso-marino y otro piroclástico, que se engranan entre sí (Suárez y otros, 1996; De la Cruz y otros, 2003). Representa el inicio de la trasgresión marina somera del Cretácico temprano, en una cuenca extensional de trasarco, sincrónico al volcanismo de la Formación Ibáñez (Suárez y otros, 2007).

De la Cruz y Suárez (2006), en un espesor variable de hasta ~320 m, reconocen cuatro asociaciones de facies cuyas relaciones estratigráficas no lograron ser determinadas en su totalidad, producto

del fallamiento presente, sin embargo, de base a techo corresponden a: (A) asociación calcáreo-arenosa; (B) asociación de areniscas, brechas y tobas rojas con fósiles de vertebrados; (C) asociación de areniscas, brechas y tobas verdes; (D) asociación volcanoclástica con fósiles de invertebrados.

En la Formación Toqui, específicamente en la asociación (B), se han reconocido abundantes fragmentos de huesos de dinosaurios, de los cuales, los más relevantes corresponden a terópodos (De la Cruz y otros, 2005), saurópodos y ornitiscuios (Gasparani, comunicación escrita, 2004 en De la Cruz y Suárez, 2006). En cuanto al contenido paleobotánico, se identificó la presencia de *Podocarpoxylon* sp. y esporas tipo trilete (helechos) (Sylvia Palma-Heldt, comunicación escrita, 2006 en De la Cruz y Suárez, 2006).

La edad para la Formación Toqui ha sido discutida por diversos autores a través de los años. En la zona de Ñireguao fueron colectados ammonites del Berriasiano inferior y superior (Covacevich y otros, 1994; Charrier y Covacevich, 1978). Mientras que, 200 km al norte en el área de Palena, fueron identificados fósiles del Titoniano medio y Aptiano (De la Cruz y otros, 1996), lo que otorga una edad comprendida entre el Berriasiano y Aptiano. La unidad se acumuló en un ambiente marino somero, cercano a la costa y de energía variable, al que eventualmente llegó material volcanoclástico producto de actividad volcánica más o menos proximal (De la Cruz y Cortés, 2011).

Sobreyace en concordancia a la Formación Ibáñez. Se correlaciona con Formación Cerro Colorado en los alrededores de Chile Chico (De la Cruz y Suárez, 2006). En Argentina, se correlaciona con Formación Tres Lagunas (Ploszkiewick y Ramos, 1977) y con la Formación Cotidiano (Ramos, 1976; 1981). En Magallanes, se correlaciona con Formación Springhill (Thomas, 1949).

3.3.3. Batolito Norpatagónico (Jsg, Kig, KTg, Eg, Mg; Cretácico-Paleógeno):

El Batolito Patagónico se ubica en el eje de la Cordillera Patagónica entre los 38° y 56°S. Se extiende por más de 1.700 km con un ancho que alcanza los 200 km. De manera particular, el Batolito Norpatagónico posee una extensión de ~100 km y se emplaza en dirección NS entre los 38°S y 48°S.

Corresponde a un plutón asociado a subducción, emplazado entre el Jurásico Superior y el Mioceno, incluso Plioceno, intruyendo de manera episódica a unidades de origen metamórfico, sedimentario y volcánico preexistentes (Pankhurst y otros, 1999; De la Cruz y otros, 2003).

Compuesto por granitos, granodioritas, tonalitas, dioritas cuarcíferas, dioritas, gabros y peridotitas, con variaciones composicionales este-oeste, desde ácidas a básicas, respectivamente (Niemeyer y otros, 1984). Pankhurst y otros (1999) establecen un carácter metaluminoso y calcoalcalino predominante. Los autores describen un patrón de edad complejo y definen zonas, las cuales de oeste a este poseen edades correspondientes al Cretácico Superior, Cretácico Inferior, Eoceno y Mioceno inferior, volviendo a Cretácico medio en la Cordillera Principal.

3.4. CENOZOICO

3.4.1. Formación Ligorio Márquez (PE1c; Paleoceno-Eoceno inferior):

Definida por Suárez y otros (2000) en los cerros al norte de Laguna Los Flamencos, a 27 km al sur de Chile Chico. Aflora en la ribera sur del Lago General Carrera, en las cercanías de la localidad de Puerto Guadal, y al norte y sur de la naciente del Río Las Horquetas.

Posee una potencia mínima de ~200 m. Constituida por areniscas y conglomerados de cuarzo con estratificación cruzada, e incluye intercalaciones de areniscas de grano fino a muy fino, lutitas y algunos niveles de lutitas carbonosas y carbón los cuales se exponen principalmente en el sector El Furioso y Pato Raro, tanto al norte como al suroeste de Meseta Cosmelli (De la Cruz y Suárez, 2006).

Posee flora característica de clima tropical a subtropical, cuya depositación ocurrió en la etapa inicial del óptimo climático del Paleoceno tardío–Eoceno temprano (Suárez y otros, 2000). Sobre la base de su contenido paleoflorístico de *Bignonia gigantifolia* (Troncoso y otros, 2002) y por su relación de contacto con los Basaltos Inferiores de la Meseta de Chile Chico (BIMCC), ha sido asignada al Paleoceno superior (Suárez y otros 2000; Yabe y otros, 2006). Posteriormente, a partir de edades U-Pb, Carrasco (2018) le otorga una edad correspondiente al Paleoceno superior–Eoceno inferior. Su ambiente de depositación corresponde a ríos trezados, con amplias planicies fluviales intercaladas con depósitos aluviales y lacustres de baja profundidad (De la Cruz y Suárez, 2006).

Sobreyace en discordancia angular al CMAO, en discordancia y paraconformidad a Formación Ibáñez y en paraconformidad a Formación Toqui. Infrayace en concordancia a la Formación San José (De la Cruz y otros, 2004; De la Cruz y Suárez, 2006). Se correlaciona con el Grupo Río Chico del Paleoceno superior (formaciones Peñas Coloradas, Las Flores y Koluel Kaike) en Argentina. Carrasco (2018) correlaciona la Formación Ligorio Márquez por edad y ambiente con la parte media-baja del Grupo Río Chico (Paleoceno-Eoceno).

3.4.2. Formación San José (E1c; Eoceno?-Oligoceno):

Inicialmente fue considerada como parte de la Formación Guadal por Niemeyer (1975). Posteriormente es definida formalmente por Flint y otros (1994) en el sector de Río Las Dunas, alrededor de 10 km al este de la localidad de Puerto Guadal, cerca de la localidad de San José.

Corresponde a una sucesión sedimentaria volcanoclástica con una potencia que varía entre 80 y 200 m, compuesta por limolitas y areniscas finas con intercalaciones de granulometría más gruesa y conglomerados, con menor presencia de ceniza y lapilli (De la Cruz y otros, 2003). Su sección basal posee conglomerados clasto-soportados de base erosiva y areniscas de grano grueso, las cuales gradan estratigráficamente hacia techo a una alternancia de limolitas rojas y púrpuras y bancos de areniscas (De la Cruz y Suárez, 2006).

En cuanto al contenido fosilífero, posee ejemplares botánicos propios de clima tropical a subtropical durante el Eoceno temprano, el cual fue reconocido en el sector de Mina El Furioso (De la Cruz y otros, 2003). La edad ha sido asignada sobre la base del contenido paleoflorístico, caracterizado por ausencia o escasa representación del género *Nothofagus* y por tener afinidades con la flora del Río Pichileufú (Troncoso, comunicación escrita, 2003, en De la Cruz y otros, 2004). Además, debido a su posición estratigráfica respecto a las Formación Ligorio Márquez y la Formación Guadal, se infiere una edad cercana al límite Paleoceno-Eoceno o incluso Eoceno inferior (De la Cruz y otros, 2004; De la Cruz y Suárez, 2006). Posteriormente, a través de análisis U-Pb, Carrasco (2018) otorga una edad correspondiente al Eoceno medio-Oligoceno inferior para la formación.

Flint y otros (1994), en De la Cruz y otros (2003), asignan a esta formación un ambiente de depositación asociado a abanico aluvial en una llanura de inundación. Carrasco (2018) indica que al Formación San José habría pasado de un sistema fluvial trenzado tipo “*donjek*” a un sistema fluvial meandriforme en su parte superior, asociado a vulcanismo efusivo y piroclástico.

Sobreyace en concordancia a la Formación Ligorio Márquez y subyace en paraconformidad a la Formación Guadal (De la Cruz y otros, 2004; De la Cruz y Suárez, 2006).

De la Cruz y otros (2004) correlacionan la Formación San José con la Formación Río Lista del Eoceno inferior-medio. Posteriormente, De la Cruz y Suárez (2006) la correlacionan con las formaciones argentinas Casamayor y Río Leona, ambas del Eoceno inferior-medio. Estas dos últimas se disponen sobre el Basalto Posadas, de la misma edad.

3.4.3. Formación Guadal (OM1m; Oligoceno superior-Mioceno inferior):

Descrita por primera vez por Heim (1940) como “Formación Mesa Guadal” o “Series Mesa Guadal”. Posteriormente, Niemeyer (1975) define formalmente la Formación Guadal al sureste de la localidad del puerto homónimo (De la Cruz y Suárez, 2006; De la Cruz y Suárez, 2008). De la Cruz y Suárez (2006) describen la formación como una secuencia de rocas sedimentarias marinas fosilíferas de ~105 m de potencia y reconocen cuatro asociaciones de facies: 1) inferior, 2) fosilífera, 3) con estratificación cruzada y 4) superior.

Suárez y otros (2008) obtuvieron una edad de 28 Ma (Oligoceno medio) mediante datación radiométrica utilizando el método U-Pb SHRIMP en la base de la Formación Guadal en Pampa Cosmelli. Además, por su correlación estratigráfica y fosilífera con la Formación Monte León, se le ha asignado una edad Oligoceno superior-Mioceno inferior. Posteriormente, a través de análisis U-Pb, Carrasco (2018) corrobora la edad Oligoceno superior-Mioceno inferior para la formación.

El ambiente de depositación es de tipo marino de plataforma con episodios carbonatados, los cuales dan evidencia de diferentes periodos de transgresión-regresión, con influencia de planicies fluviales y llanuras de inundación (Frassinetti y Covacevich, 1999). Subyace a la Formación Santa Cruz y sobreyace en aparente concordancia a la Formación San José, sin embargo, de acuerdo con sus

edades asignadas existiría un hiatus entre ellas, por lo cual su contacto correspondería a una paraconformidad (De la Cruz y Suárez, 2006).

Se correlaciona en Argentina con la Formación Monte León del Oligoceno superior-Mioceno inferior en (Frassinetti y Covacevich, 1999) y con la Formación Centinela del Oligoceno-Mioceno inferior (Furque y Camacho, 1972, en De la Cruz y Suárez, 2008).

3.4.4. Formación Santa Cruz (MP1c; Mioceno inferior alto):

Unidad definida en Argentina, donde aflora ampliamente. Niemeyer (1975) denomina Formación Río Zeballos a los afloramientos que aparecen a lo largo del Río Jeinemeni, en la frontera Chile-Argentina y al sur de la localidad de Chile Chico. Posteriormente, Niemeyer y otros (1984) denominan estos afloramientos como Formación Galera. Finalmente, De la Cruz y otros (2003), basándose en la litología y contenido fosilífero, denominan estos estratos como Formación Santa Cruz. Corresponde a una unidad sedimentaria continental con ~1.000 m de potencia mínima. Constituida principalmente por areniscas de grano muy fino a fino y limolitas con intercalaciones canalizadas de areniscas y conglomerados. Posee estructuras sedimentarias, bioturbaciones y restos fósiles de flora y fauna continental (De la Cruz y Suárez, 2006).

La edad de la Formación Santa Cruz fue asignada como Mioceno inferior alto debido a su contenido de vertebrados fósiles típicos del SALMA (*South American Land Mammal Age*) Santacruciano (Flynn y otros, 2002; Bostelmann y Buldrini, 2012), el cual ha sido acotado entre los ~17 a 16,3 Ma por Flynn y Swisher (1995), y entre 18,2 a 15,6 Ma por Cuitiño y otros (2016).

Según Flint y otros (1994), el ambiente de depositación de la Formación Santa Cruz habría sido de tipo fluvial sinuoso, con llanuras de inundación y canales arenosos. Mientras que Carrasco (2018) indica que la formación correspondería a un ambiente fluvial meandriforme, asociado a volcanismo piroclástico.

Sobreyace en concordancia a la Formación Guadal (De la Cruz y otros, 2004; De la Cruz y Suárez, 2006; De la Cruz y Suárez, 2008). Se correlaciona con el Grupo Río Zeballos, expuesto en el flanco occidental de la Meseta Lago Buenos Aires (De la Cruz y otros, 2004; De la Cruz y Suárez, 2008).

3.5. PLEISTOCENO – HOLOCENO

Desde el Mioceno superior al Pleistoceno Superior, la región ha sufrido glaciaciones de forma intermitente (Singer y otros, 2004; De la Cruz y Suárez, 2006), las que han labrado el paisaje y creado una serie de depósitos glaciales y morrénicos desde el Pleistoceno al Holoceno (De la Cruz y Suárez, 2006). Estas glaciaciones formaron el Lago General Carrera, el cual presenta depósitos lacustres y deltaicos. Además, la zona ha presentado a lo largo del Holoceno cursos de agua que han originado depósitos fluviales jóvenes (Holoceno inferior) y actuales (Holoceno superior). En la zona se presentan también, en menor medida, depósitos eólicos, coluviales y de remociones en masa (De la Cruz y Suárez, 2006).

3.5.1. Secuencias y centros volcánicos parcialmente erodados (PPI3; Plioceno-Pleistoceno):

Basaltos, tobas y conglomerados correlacionables con la Formación Malleco, asociadas a una depositación en un contexto de margen continental activo (SERNAGEOMIN, 2003).

3.5.2. Depósitos glaciales (Q1g, Q1g1; Pleistoceno-Holoceno):

Depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glaciolacustres asociados a las principales glaciaciones del Pleistoceno y Holoceno (SERNAGEOMIN, 2003).

3.5.3. Depósitos cuaternarios (Q1; Pleistoceno-Holoceno):

Depósitos no consolidados asociados a eventos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados (SERNAGEOMIN, 2003).

3.5.4. Depósitos volcánicos (P3i, Q3i; Cuaternario):

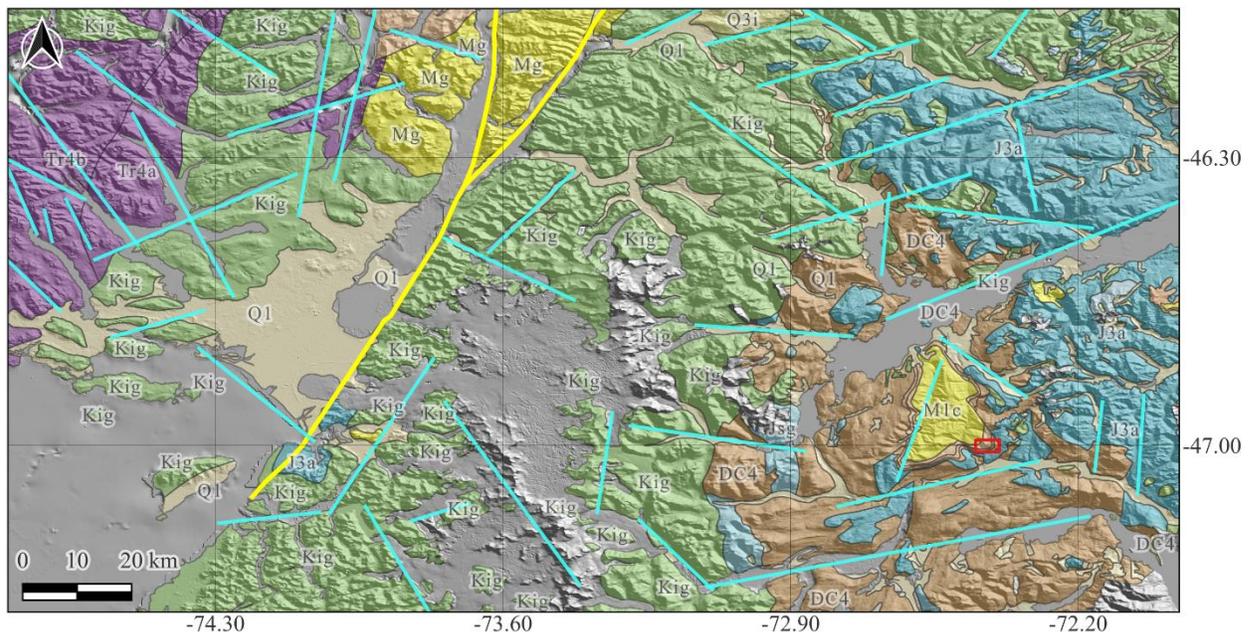
Secuencias de origen volcánico asociadas a estratovolcanes y complejos volcánicos que comprenden flujos de lava basáltica y depósitos piroclásticos andesíticos-basálticos a dacíticos. Estos depósitos provienen de los volcanes Hudson, Macá, Cay y centros eruptivos menores (SERNAGEOMIN, 2003).

3.6. RASGOS ESTRUCTURALES

3.6.1. Generalidades

En la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, específicamente en la Península de Taitao, convergen las placas de Nazca, Antártida y Sudamericana conformando una zona denominada como Punto Triple. Este punto ha migrado de sur a norte, a lo largo del margen continental, desde el Mioceno (14 Ma) a la actualidad, hasta alcanzar el margen continental (Cande y Leslie, 1986; Cande y otros, 1987).

La configuración geotectónica está caracterizada por la presencia de un set complejo de lineamientos de primer orden (Fig. 5), de rumbo general N13°E (Weischet, 1960) y lineamientos secundarios con orientaciones NNW-SSE y NNE-SSW (Steffen, 1944), los cuales conforman la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO).



Simbología

- Área de Estudio
- Lineamientos
- Zona de Fallas Liquiñe-Ofqui

Figura 5: Mapa de lineamientos de la parte central de la Región de Aysén. Zona de estudio en la parte inferior derecha demarcada con rectángulo rojo. Modificado de SERNAGEOMIN (2003).

3.6.2. Deformación Frágil

La Zona de Falla Liquiñe-Ofqui posee una extensión de ~1.000 km de largo, entre los 38°S y 47°S, presentando una cinemática principalmente dextral, cuyas estructuras acomodan la componente paralela a la fosa de la convergencia oblicua entre las placas Nazca y Sudamericana (Agurto-Detzel y otros, 2014; Cembrano y otros, 1996). Lavenu y Cembrano (1999) interpretan la ZFLO como un sistema dúplex de rumbo dextral con una raíz cortical profunda, que ha controlado en gran parte la deformación en la Cordillera Patagónica.

Cembrano y otros (1996) identifican tres tipos de lineamientos bien definidos en este sistema de fallas: el primero corresponde a dos lineamientos de tendencia NNE-SSW, reconocibles por centenares de kilómetros; el segundo corresponde a al menos cuatro de tendencia NE-SW de decenas de kilómetros, rectos y en echelón, siendo en estos últimos donde se encuentran los centros volcánicos; el tercero corresponde a tres lineamientos de orientación NNW-SSE, cóncavos hacia el suroeste y reconocibles también por centenares de kilómetros.

De manera local, en la zona oriental de Meseta Cosmelli se dispone un sistema de fallas inversas orientadas NS a NE-SW, las cuales involucran rocas del Paleozoico superior, Jurásico, Cretácico Inferior y Cenozoico. Dentro de este sistema destaca la Falla Elcira, la cual posee una cinemática inversa-sinistral con vergencia al oeste. Esta falla pone en contacto a rocas del CMAO y Formación Toqui con las formaciones Ligorio Márquez, San José, Guadal y Santa Cruz (De la Cruz y Suárez, 2006). Otra falla relevante en la zona es la Falla Visera, la cual corresponde a una falla normal invertida con vergencia al oeste y que sobrepone a rocas de la Formación Toqui sobre la Formación Ligorio Márquez (De la Cruz y Suárez, 2006).

3.6.3. Deformación Dúctil

La Faja Plegada y Corrida de la Patagonia (FPCP) corresponde al frente orogénico de la Cordillera Patagónica, con fallas inversas de orientación NS a EW y vergencia hacia el este (Charrier y otros, 2007; Boetsch, 2014). Este conjunto de fallas se habría desarrollado entre el Cretácico tardío-Mioceno tardío (Kraemer, 1998; Coutand y otros, 1999; D’Orazio y otros, 2001; De La Cruz y Suárez, 2008) y habría generado el alzamiento de las sucesiones cretácicas y neógenas sobre el relleno actual de la cuenca de antepaís (De la Cruz y Suárez, 2008).

De manera local, en Meseta Cosmelli se logra observar un sinclinal controlado por un sistema de fallas con vergencias opuestas y que convergen en su extremo norte, lo que causa la exposición de unidades sedimentarias del Cenozoico (Suárez y De la Cruz, 1992; Flint y otros, 1994). Además, al sur de la localidad de San José, se registra un pliegue de crecimiento que involucra niveles inferiores de la Formación Santa Cruz, sugiriendo una sedimentación sintectónica (Flint y otros, 1994; Lagabriele y otros, 2004; Folguera y otros, 2018).

Se observan también estructuras de sinclinales aislados y discontinuidades estratigráficas en los niveles superiores de la Formación Santa Cruz, provocadas durante un tectonismo compresivo durante el Mioceno inferior alto (De la Cruz y Suárez, 2006). Este evento sería el responsable, en parte, de la creación de una faja plegada y corrida desarrollada al sur y este de Meseta Cosmelli, incluyendo sectores de Argentina (Ramos, 1989; Suárez y De la Cruz, 2000; Suárez y otros, 2000).

3.6.4. Evolución Tectónica

La unidad más antigua a escala regional corresponde al Complejo Metamórfico Andino Oriental (CMAO), el cual se depositó en un contexto de margen pasivo (Ordovícico-Misisipiano) y fue metamorfozado posteriormente desde el Pensilvaniano hasta el Pérmico (Hervé y otros, 2007). Este último periodo está caracterizado por la reactivación de la subducción al occidente de Gondwana y la colisión del terreno de Patagonia con el supercontinente cerca de los 40°S (Charrier y otros, 2007; Ramos, 2008).

Existe a escala regional un hiato desde el Triásico Superior hasta el Oxfordiano, representado por la discordancia erosional del volcanismo de la Formación Ibáñez sobre el CMAO y plutones ubicados al occidente de la zona de estudio (De la Cruz y otros 2003). Diferentes autores han establecido un régimen tectónico extensional a este periodo, debido a la asociación del volcanismo ácido de la Formación Ibáñez con la Provincia Ígnea Chon Aike (Mpodzis y Ramos, 2008; Riley y Leat, 1999). Sin embargo, la composición calcoalcalina y la relación espacial de la Formación Ibáñez con las secuencias volcánicas jurásicas silíceas que se distribuyen paralelas al Batolito Patagónico, indican un ambiente de subducción (Gianni y otros, 2019; Pankhurst y otros, 1999).

En el Jurásico temprano comienza la subducción de la placa Aluk (Fénix) bajo la placa Sudamericana a través del margen suroccidental, orientado en dirección NNW-SSE, evento asociado a la fase tectónica Dunlop que provocó plegamiento y posterior alzamiento de depósitos sedimentados durante el Triásico Superior (Charrier y otros, 2007; Mosquera y otros, 2011; Thompson y Hervé, 2002). El comienzo de la subducción está representado por el magmatismo y volcanismo del Batolito Patagónico y Formación Ibáñez, respectivamente (Weaver y otros, 1990; Bruce y otros, 1991; Pankhurst y otros, 1999; Suárez y De la Cruz, 2001; De la Cruz y otros, 2003).

Desde el Toarciano al Albiano (Jurásico tardío al Cretácico temprano), la placa Aluk subductó bajo la placa Sudamericana con un vector de convergencia de dirección NW-SW (Mpodozis y Ramos, 2008; Mosquera y otros, 2011). Según Maloney y otros (2013), esta subducción fue de tipo mariana, debido a la antigüedad de la placa subductada (50 Ma) y la relativamente baja velocidad de convergencia (2-4 cm/año). En este contexto de subducción de alto ángulo, entre finales del Jurásico Superior y el Berriasiano se produce una transgresión marina que dio origen a la Cuenca de Aysén, producida en un régimen tectónico extensivo (Gianni y otros, 2019; Mpodozis y Ramos, 2008). En este evento se deposita la Formación Toqui, que se intercala con los depósitos superiores de la Formación Ibáñez (De La Cruz y otros, 2003).

Entre los 130 y 120 Ma (Hauteriviano) se produce la inversión tectónica de la Cuenca de Aysén (Gianni y otros, 2019). Posteriormente entre el Aptiano y el Albiano, el arco magmático caracterizado por el Batolito Norpatagónico se desplaza hacia el este, distribuido a través de una franja longitudinal a lo largo de las zonas de Palena, Puerto Aysén y el sector oriental del campo de hielo San Valentín (De la Cruz y otros, 2003; Gianni y otros, 2019; Pankhurst y otros, 1999; Suárez y otros, 2007). Pankhurst y otros (1992) señalan que, a través de la debilidad tectónica del arco magmático del Cretácico, se desarrolla un sistema de fallas de cinemática sinistral, que se invertiría durante en el Cenozoico (Adriasola y otros, 2005; Cembrano y otros, 1996).

En el Cretácico Superior bajo cambia el régimen tectónico a compresivo, ya que se produce la apertura definitiva del Océano Atlántico Sur, lo que produce la rápida deriva hacia el oeste de Sudamérica (Russo y Silver, 1996; Mpodozis y Cornejo, 2012). Se cierran así las cuencas de trasarco por inversión tectónica, y se desarrolla la Cordillera Andina junto a las cuencas de antepaís

asociadas. Posteriormente desde el Cretácico Superior al Reciente la subducción cambia al tipo chileno, definido por Uyeda y Kanamori (1979).

Durante el Paleoceno superior, como consecuencia de la erosión de los terrenos alzados en el Cretácico Superior, depósitos fluviales de la Formación Ligorio Márquez fueron depositados en discordancia angular sobre rocas del Complejo Metamórfico Andino Oriental y de la Formación Ibáñez (Suarez y otros, 2000). Entre los 52 y 40 Ma (Eoceno temprano) existió un cambio en la pendiente y/o aumento en el espacio de acomodación, posiblemente asociado a una subsidencia de cuenca, lo cual permitió la evolución de un sistema trezado a uno meandriforme, tanto en la Formación Ligorio Márquez como en la Formación San José. Esto tiene un origen relacionado a la subducción de la dorsal Aluk-Farallón, asociado a un evento extensional. Esto habría favorecido la transgresión marina del Mar Patagoniano durante el Oligoceno tardío-Mioceno temprano desde el Océano Atlántico con la consecuente sedimentación de la Formación Guadal. Posteriormente, los estratos fluviales sinorogénicos de la Formación Santa Cruz fueron sedimentados durante un periodo de deformación compresiva durante el alzamiento de la Cordillera de Los Andes, durante el Mioceno temprano-Mioceno medio (Carrasco, 2018).

Al sur de los 38°S, entre el Mioceno tardío y el Pleistoceno se produce una fase tectónica compresional, junto a la intrusión de plutones superficiales a través de la ZFLO, sincrónico a la migración hacia el norte de la subducción de la dorsal de Chile hasta su posición actual (Golfo de Penas) (Adriasola y otros, 2005; Cembrano y Lara, 2009). Según Thomson (2002), la subducción de la dorsal de Chile entre los 14 y 10 Ma fue la principal causa del inicio del régimen transpresivo dextral, que produjo el alzamiento cordillerano.

La Cordillera de Los Andes en aquel entonces poseía una alta tasa de erosión producida principalmente por las más de 40 glaciaciones antes del último máximo glacial (Thomson, 2002). A fines del Pleistoceno Superior, el rebote glacioeustático, en conjunto a cambios en el nivel de base, produce la profunda incisión de los ríos e inversión de drenajes hacia el este (De la Cruz y otros, 2003). Finalmente, el drenaje cambia de sentido hacia el oeste, permitiendo la captura de los ríos, por los valles recién excavados por los glaciares o por basculamiento tectónico (De la Cruz y otros, 2003). Estos eventos serían los responsables de la topografía actual.

4. ESTRATIGRAFÍA DE FORMACIÓN SAN JOSÉ

4.1. GENERALIDADES

Definida por Flint y otros (1994) como una unidad sedimentaria continental formada por una sección basal de conglomerados clastosoportados de base erosiva y areniscas de grano grueso, las cuales gradan estratigráficamente hacia techo a una alternancia de limolitas rojas y púrpuras y bancos de areniscas. Sobreyace en concordancia a la Formación Ligorio Márquez y subyace en paraconformidad a la Formación Guadal (De la Cruz y otros, 2004; De la Cruz y Suárez, 2006).

Vidal (2024) en su Memoria de Título elaboró secciones estratigráficas para las formaciones Ligorio Márquez y San José, de las cuales, la relevante en el presente estudio corresponde a la Columna Oeste de la Formación San José (Fot. 1). A grandes rasgos, se compone de intercalaciones entre conglomerados, areniscas y limolitas, intruidas localmente por filones afaníticos. Las estructuras principales corresponden a laminación paralela, laminación ondulosa, estratificación cruzada en artesa (de bajo y alto ángulo) y lentes de grava. Presenta improntas foliares, xilópalos y fragmentos de troncos. Los contactos varían entre netos, cubiertos, transicionales y discordantes.



Fotografía 1: Columna Oeste. Intercalación de arenisca muy gruesa y conglomerado con estratificación cruzada en artesa de bajo ángulo. Pertenece a la parte superior de la Formación San José.

4.2. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

La Columna Oeste (Fig. 8), elaborada por F. Vidal (2024), corresponde a la extensión de la Formación San José, desde su contacto con la Formación Ligorio Márquez en la base, hasta el contacto con Formación Guadal en el techo. La sección aflora al norte del valle del Río Chacabuco, al suroeste del Lago Jeinimeni en la localidad de Pampa Castillo y comprende los niveles fosilíferos aquí tratados. Posteriormente, en la presente Memoria de Título se detallan dos secciones estratigráficas en detalle de las capas con mayor concentración y abundancia de fósiles, las cuales corresponden a Columna Localidad N°2 (Fig. 9) y Columna Localidad N°3 (Fig. 10).

4.2.1. Simbologías de columnas (Fig. 6 y Fig.7)

4.2.1.1. Columna Oeste (Vidal, 2024):

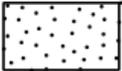
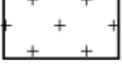
LITOLOGÍAS		ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	
	Arenisca		Estratificación o laminación paralela
	Limolita		Estratificación cruzada en artesa
	Conglomerado indiferenciado		Estratificación cruzada en artesa de bajo ángulo
	Conglomerado clasto soportado		Estratificación cruzada en artesa de alto ángulo
	Conglomerado matriz soportado		Estratificación o laminación ondulosa
	Filón		Lentes de grava
	Nivel cubierto		Pátinas y/o motas ferruginosas
FÓSILES		CONTACTOS	
	Xilopalo		contacto neto
	Troncos ex situ		contacto cubierto
	Materia orgánica (motas)		contacto transicional
	Improntas Foliares		discordancia

Figura 6: Simbología Columna Oeste que contempla extensión de Formación San José. Elaborado por F. Vidal (2024) y modificado para su uso en la presente Memoria de Título.

4.2.1.2. Columnas Localidad N°2 y Localidad N°3:

LITOLÓGÍAS		ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS			
	Arenisca		Estratificación o laminación paralela		
	Limolita		Estratificación cruzada en artesa		
	Filón afanítico		Estratificación cruzada en artesa de bajo ángulo		
	Tramo cubierto		Ondulitas indiferenciadas		
CONTACTOS			Lentes conglomerádicos		
			Lentes de arena media a gruesa		
CONTACTOS			Pátinas y/o motas ferruginosas		
		FÓSILES			
			Contacto neto		Angiospermas dicotiledóneas
			Contacto cubierto		Angiospermas monocotiledóneas
	Contacto transicional		Helechos		
	Discordancia erosiva		Equisetos		
			Materia orgánica		
			Xilópalo		

Figura 7: Simbología de columnas detalladas (Columna Localidad N°2 y Columna Localidad N°3) para los niveles portadores de improntas foliares.

4.2.2. Columna Oeste

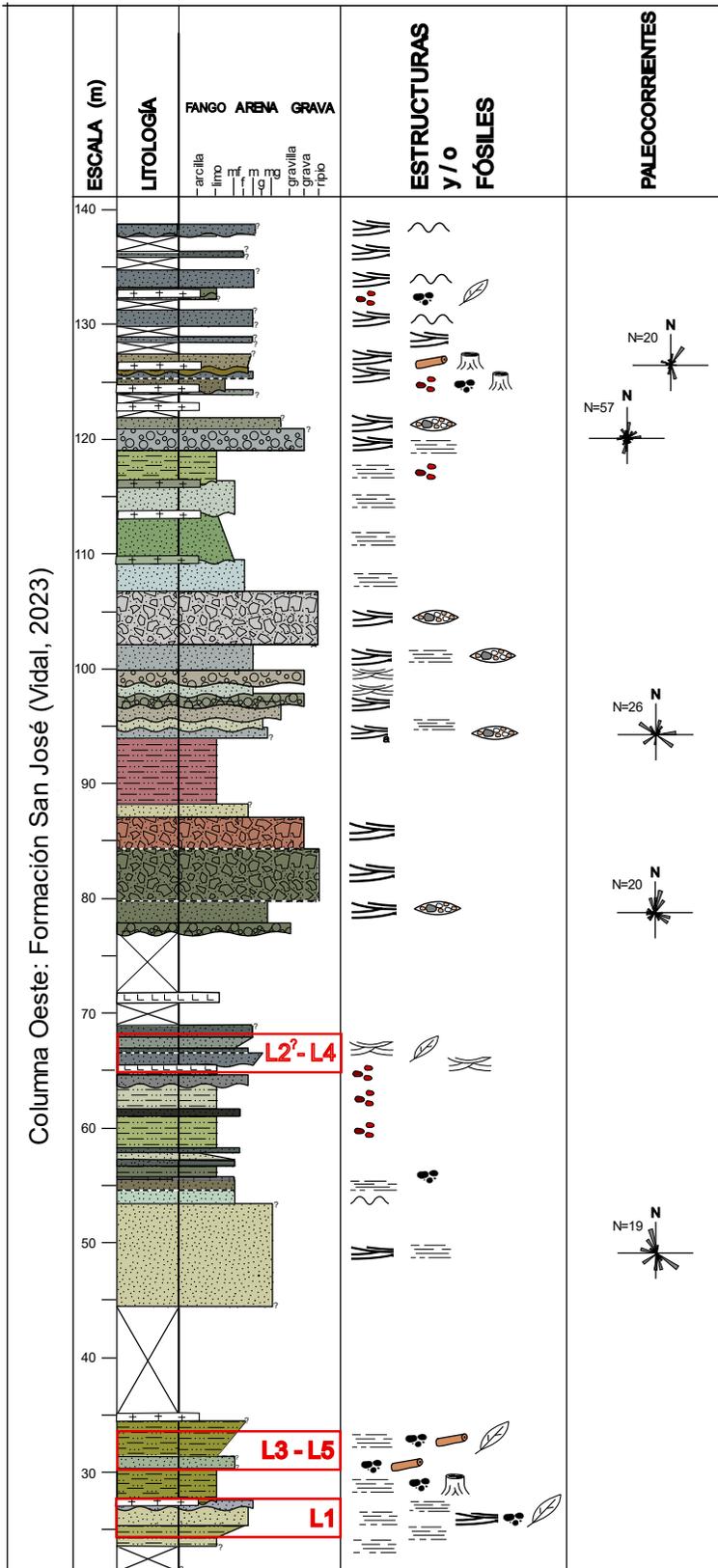


Figura 8: Columna Oeste, escala 1:250. En los recuadros rojos se observa la altura estratigráfica de las localidades de colecta, L2 inferida. Elaborado por F. Vidal (2024). Modificado para el presente trabajo.

4.2.3. Columnas Detalladas

A continuación, se describen en detalle las columnas realizadas en dos localidades de colecta paleobotánica en el sector El Furioso. Escala 1:50.

4.2.3.1. Columna Localidad N°2: Potencia de 364 cm.

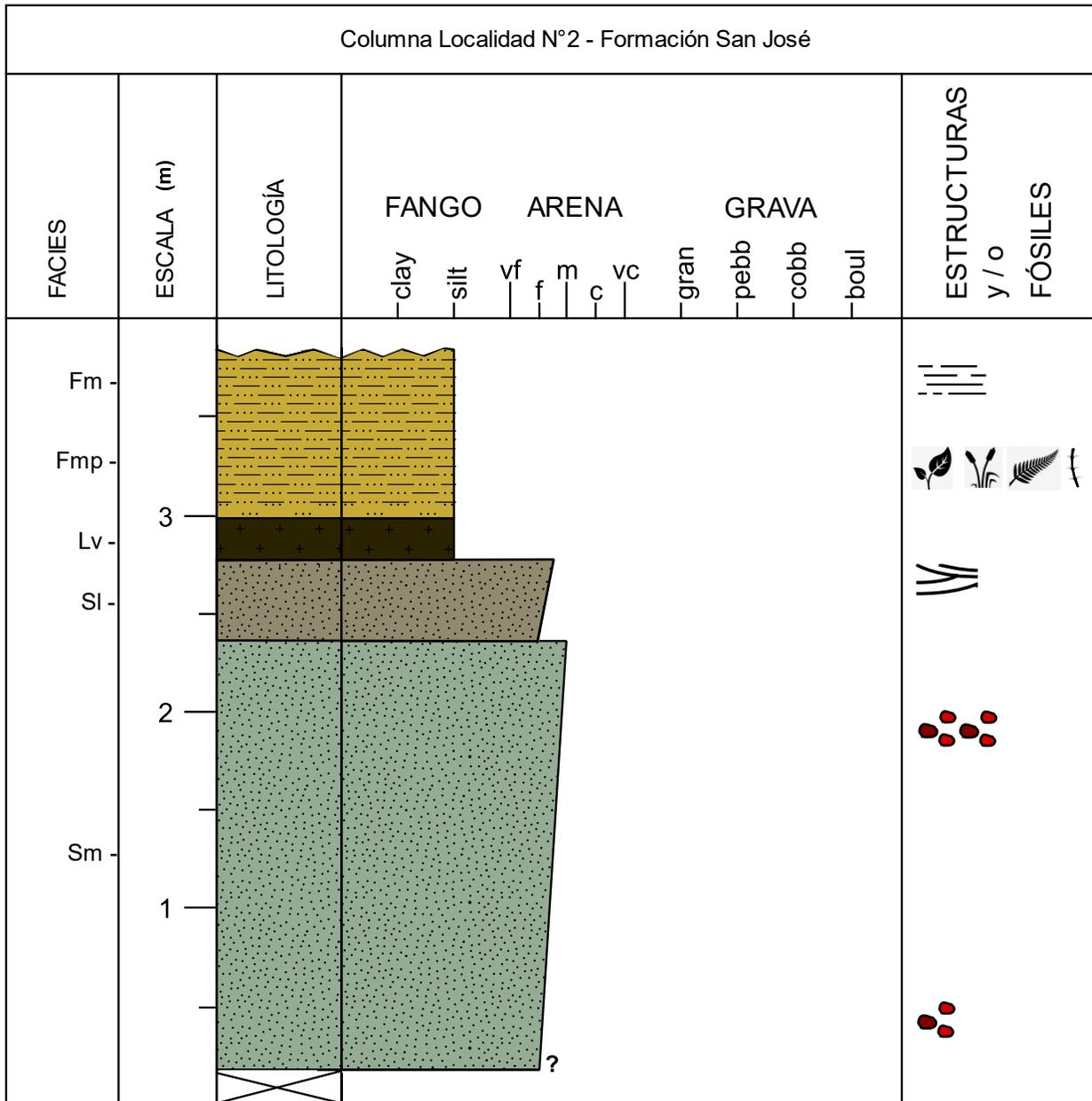


Figura 9: Columna Localidad N°2. Coordenadas: 47.002534°; 72.411017°.

La base se compone de abundantes rodados y contacto cubierto. Comienza con 216 cm de arenisca masiva fina que grada a media, de buena selección y coloración grisácea en superficie expuesta y verdosa en superficie fresca (Fot. 2-A), posee pátinas de óxido de hierro las cuales se acentúan en los últimos 42 cm terminando en un contacto neto. Le siguen 40 cm de arenisca parduzca equigranular silicificada con estratificación cruzada en artesa, cuya granulometría varía de fina (los primeros 12 cm) a media-fina (los 28 cm restantes).

Sobreyaciendo ese nivel se encuentra un filón afanítico de 22 cm, coloración pardo-negrucza. Posteriormente, se tienen 86 cm de limolita pardo-amarillenta (Fot. 2-B), un nivel que se encuentra sumamente fragmentado producto de la meteorización. Posee xilópalos y diversas improntas foliares de helechos, equisetos, angiospermas liliopsidas y magnoliopsidas (Fot. 2-C). Los últimos 44 cm no presentan fósiles, pero sí laminación paralela. El techo corresponde a una superficie de erosión.



Fotografía 2: Tramos pertenecientes a Columna Localidad N°2. (A) Tramo de areniscas verdosas masivas en la base y areniscas parduzcas con estratificación cruzada en artesa de bajo ángulo hacia techo. (B) Tramo de limolita pardo-amarillenta. (C) Fósil de angiosperma magnoliopsida (?*Callistemon* sp.) encontrado en la localidad.

4.2.3.2. Columna Localidad N°3: Potencia de 1.104 cm.

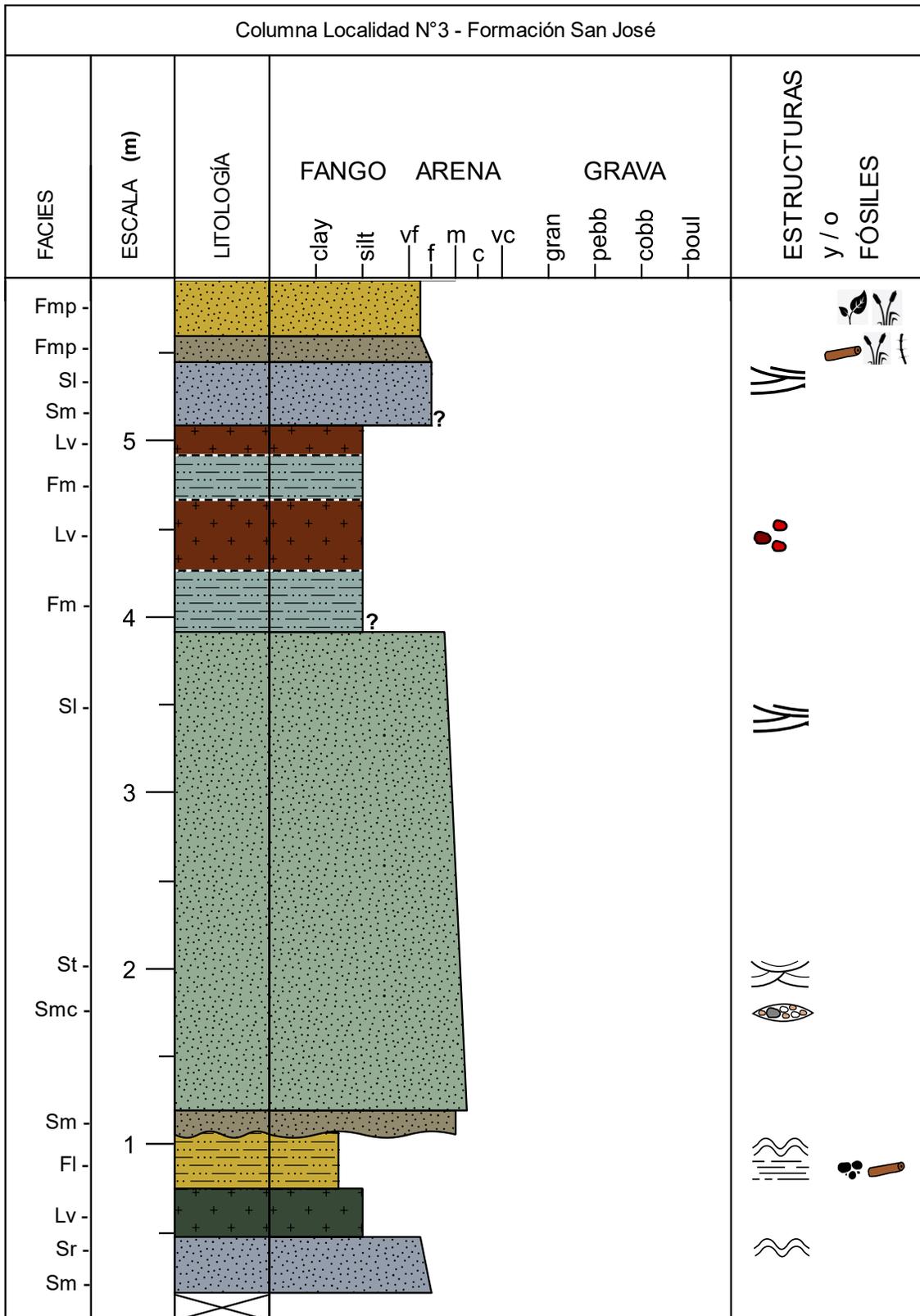


Figura 10 – Parte 1: Base Columna Localidad N°3. Coordenadas: 47.002534°; 72.411017°.

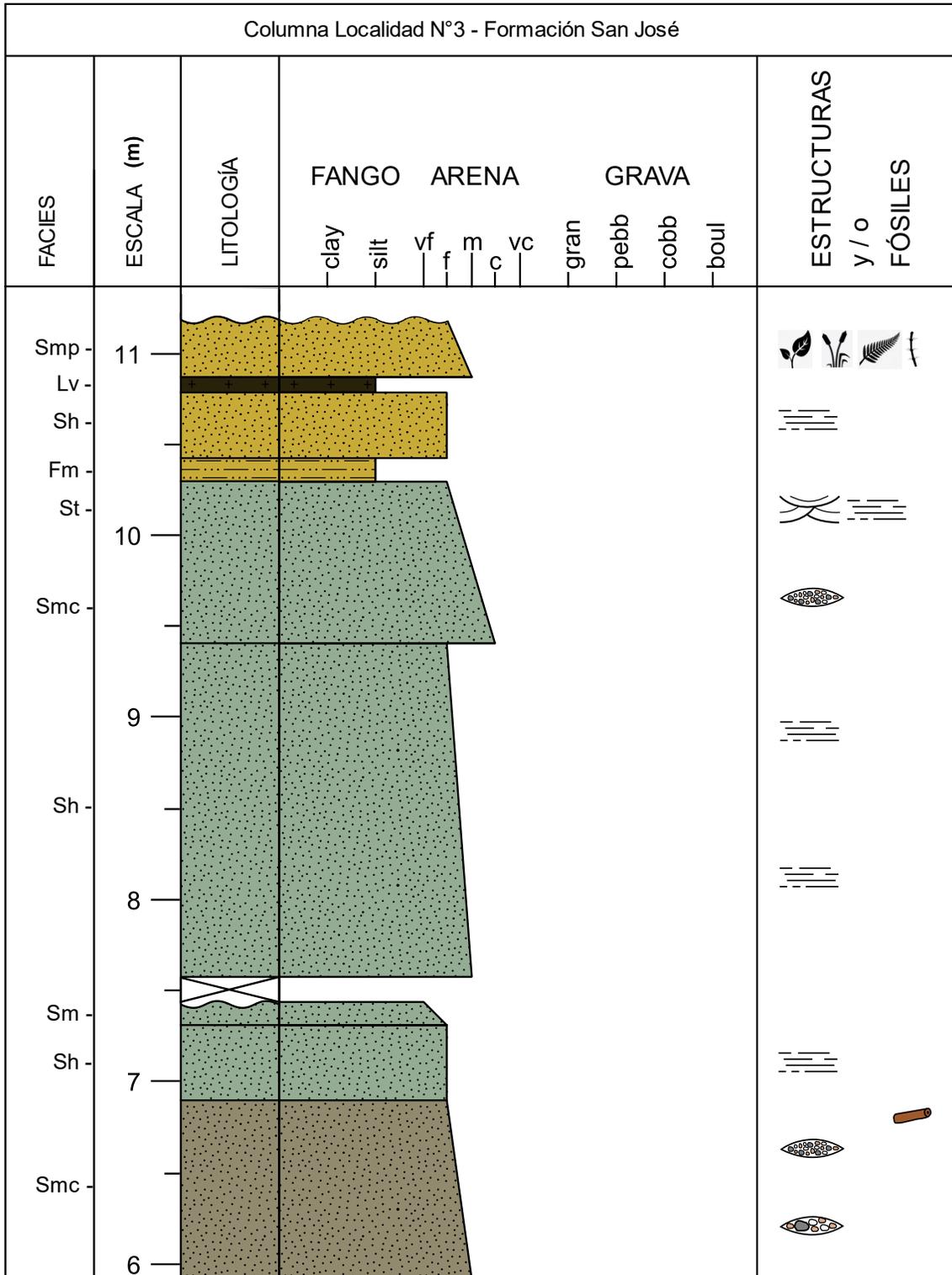


Figura 10 – Parte 2: Techo Columna Localidad N°3. Coordenadas: 47.002534°; 72.411017°.

La base corresponde a un tramo cubierto. La sección comienza con 32 cm de arenisca fina masiva equigranular, de coloración grisácea en superficie fresca, hacia techo presenta ondulitas y se encuentra meteorizada. Lo sobreyace un filón afanítico de 28 cm y coloración verdosa con tintes burdeos que termina en un contacto neto. Le siguen 32 cm de limolita deleznable pardo-amarillenta con laminación paralela fina, con materia orgánica y abundantes xilópalos, nivel que termina con ondulitas y un contacto erosivo hacia techo. Luego, 12 cm de arenisca masiva equigranular de coloración parduzca con granulometría media que se encuentra en contacto neto con 272 cm de areniscas verdosas, de las cuales los primeros 148 cm presentan una granulometría media-gruesa con niveles gruesos a conglomerádicos en la base y estratificación cruzada en artesa, mientras que los 124 cm restantes poseen granulometría media-fina, sin niveles conglomerádicos y una estratificación cruzada en artesa de bajo ángulo que desaparece hacia techo. Se tiene un contacto cubierto y una capa de ~35 cm de limolita masiva gris-verdosa meteorizada que se entremezcla con ~40 cm de filón afanítico con pátinas de óxidos de hierro (Fot. 3-A). Le siguen 26 cm de la misma limolita gris-verdosa meteorizada que se entremezcla hacia techo con 17 cm del mismo filón afanítico mencionado anteriormente.

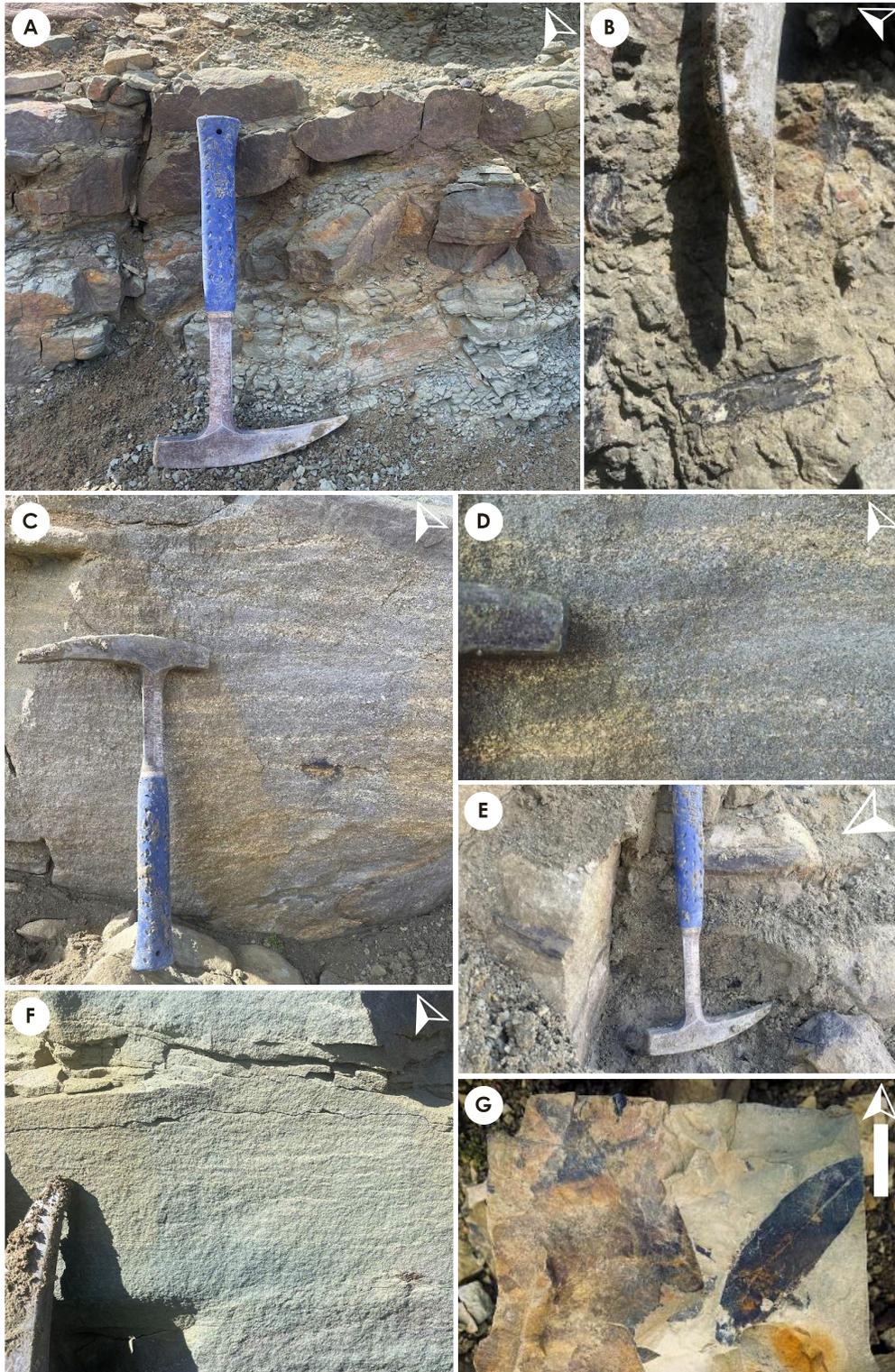
Luego de un contacto cubierto, siguen 36 cm de arenisca fina masiva equigranular de coloración grisácea, las cuales en los últimos 7 cm poseen estratificación cruzada en artesa de bajo ángulo y presenta meteorización hacia techo. Dicho nivel está en contacto neto con 14 cm de arenisca fina a muy fina masiva de coloración pardo-verdosa, la cual posee xilópalos, equisetos y angiospermas liliopsidas (Fot. 3-B).

En contacto neto le siguen 32 cm de arenisca muy fina pardo-amarillenta con fósiles de angiospermas magnoliopsidas y liliopsidas. Le siguen 98 cm de arenisca media con lentes de grano más grueso y coloración parduzca producto de la meteorización (Fot. 3-C). Los lentes miden entre 5 a 20 cm de largo y entre 0,3 a 1,6 cm de ancho y se componen principalmente de cuarzo y líticos indiferenciados de coloración gris oscura y rojizos-burdeos (Fot. 3-D). En los últimos 36 cm la arenisca gradúa a una granulometría más fina y los lentes de grano más grueso disminuyen también a niveles milimétricos hasta desaparecer hacia techo. Posee ramas (o troncos muy delgados) entre 4 y 8 cm de diámetro (Fot. 3-E). Contacto neto.

La columna sigue con 42 cm de arenisca fina de coloración verdosa y laminación paralela. Localmente presenta niveles blanquecinos dentro de la laminación (Fot. 3-F), subyace en contacto neto a 13 cm de arenisca muy fina masiva de coloración verdosa, la cual en el centro presenta una coloración gris-azulada. Hacia techo se encuentra fragmentada, denotando una superficie de erosión.

Posteriormente se tiene un tramo cubierto de 13 cm, al que le siguen 184 cm de arenisca verdosa competente y localmente deleznable, con una granulometría media que grada a fina hacia techo, posee laminación paralela y subyace en contacto neto a 88 cm de arenisca verdosa, la cual en la base es de granulometría gruesa y a los 14 cm comienza a ser de grano medio con algunos lentes de granulometría más gruesa. Sobre estos lentes, la granulometría se vuelve media a fina con estratificación cruzada en artesa y, en ocasiones, presenta laminación paralela. Este nivel subyace en contacto neto a 12 cm de limolita deleznable de coloración pardo-amarillenta, las cuales subyacen también en contacto neto a 37 cm de areniscas finas pardo-amarillentas, las cuales poseen laminación paralela en la base y hacia techo termina en un contacto neto con un filón afanítico pardo-negrusco de 9 cm.

Finalmente, se tienen 32 cm de arenisca pardo-amarillenta de granulometría media a fina, la cual posee improntas foliares de angiospermas magnoliopsidas (Fot. 3-G), liliopsidas, equisetos y helechos. Posee una flora similar a la de Localidad N°2. El techo está representado por una superficie erosiva.



Fotografía 3: Tramos pertenecientes a Columna Localidad N°3. **(A)** Limolitas masivas gris verdosas con filón afanítico. **(B)** Angiospermas monocotiledóneas. **(C)** Arenisca media parduzca con lentes de grano grueso. **(D)** Ampliación de imagen anterior. **(E)** Ramas y xilópales de arenisca anterior. **(F)** Arenisca fina verdosa. **(G)** Bloque extraído del techo de la columna con fósiles de angiospermas magnoliopsidas. Flecha indica el norte. Barra = 2,5 cm.

4.3. ANÁLISIS DE FACIES

4.3.1. Generalidades

El concepto de facies, tanto en Estratigrafía como en Sedimentología, lo introduce formalmente Gressly (1838) para denominar a “la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica”. En algunos casos el término facies ha sido utilizado con una acepción abstracta, la que corresponde a un conjunto de propiedades, carente de dimensiones, que caracterizan a unos materiales estratificados. Sin embargo, en otros casos cada vez más frecuentes, se utiliza una acepción concreta que corresponde a denominar un volumen de material caracterizado por ciertas propiedades y, por tanto, que sí posee dimensiones (Vera, 1994).

En este apartado, se realiza un análisis de litofacies basándose en el modelo de facies fluviales propuesto por Miall en 1985, con su respectiva actualización del 2006 (Tabla 1). La nomenclatura de los códigos proviene de sus términos en inglés, los cuales contemplan:

- Tamaño de grano en letras mayúsculas: grava (G), arenas (S) y sedimentos finos (F).
- Estructuras sedimentarias y presencia de fósiles en letras minúsculas.

Tabla 1: Cuadro resumen de litofacies definidas por Miall (1985; 2006), modificado para el presente trabajo. En la tabla se presentan las estructuras sedimentarias y código para cada litofacies definida.

LITOFACIES	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	CÓDIGO
Lavas, diques	Textura afanítica, composición basalto-andesítica	Lv
Arena fina a gruesa, fango, limo	Laminación paralela fina, ondulitas muy pequeñas, raicillas	Fl
Arena muy fina, fango, limo	Masiva o laminación paralela fina	Fm
Arena muy fina, fango, limo	Masiva o laminación paralela con fósiles de plantas	Fmp
Arena muy fina a gruesa	Laminación paralela	Sh
Arena muy fina a gruesa	Estratificación cruzada de bajo ángulo (< 15°)	Sl
Arena fina a gruesa	Laminación masiva o poco clara	Sm
Arena fina a gruesa	Laminación masiva o poco clara con lentes de grano grueso a conglomerádicos	Smc
Arena fina a gruesa	Laminación masiva o poco clara con fósiles de plantas	Smp
Arena muy fina a gruesa	Laminación ondulosa, ondulitas	Sr
Arena fina a muy gruesa	Estratificación cruzada en artesas solitarias o agrupadas	St

4.3.2. Litofacies

Al analizar las descripciones de los tramos, se toma en cuenta la litología, estructuras sedimentarias y contenido fósil, logrando reconocer un total de 11 litofacies. Las cuales se describen a continuación:

- 1) **Litofacies Fl: arena fina a gruesa, limo, fango con laminación paralela fina, ondulitas muy pequeñas, raicillas.** Representada en la Columna Localidad N°3 por 32 cm de limolita pardo-amarillenta con laminación paralela fina y ondulitas hacia techo. Presenta además materia orgánica y xilópalos.
- 2) **Litofacies Fm: arena muy fina, limo o fango con laminación paralela fina a masivas.** En el techo de la Columna Localidad N°2, esta facies está representada por 44 cm de limolita pardo-amarillenta con laminación paralela y ausencia de fósiles, coexistiendo con la facies Fmp. Mientras que en la Columna Localidad N°3 están representadas por tres niveles: dos en la parte media-inferior de la columna correspondientes a limolitas gris-verdosas entremezcladas con un filón afanítico y otro nivel en la parte superior de la columna correspondiente a 12 cm de limolita pardo-amarillenta masiva.
- 3) **Litofacies Fmp: arena muy fina, limo o fango con laminación paralela fina a masiva y fósiles de plantas.** En la parte superior de la Columna Localidad N°2, esta facies está representada por 42 cm de limolita pardo-amarillenta masiva con improntas foliares de equisetos, helechos y angiospermas, coexistiendo con la facies Fm. Mientras que en la Columna Localidad N°3 está representada por dos niveles adyacentes, en el inferior se encontraron fósiles de angiospermas liliopsidas, equisetos y xilópalos, mientras que en el superior angiospermas magnoliopsidas y liliopsidas.
- 4) **Litofacies Lv: diques afaníticos de composición mayormente andesítico-basálticos.** En la Columna Localidad N°2 esta facies está representada por un filón de 22 cm de potencia. Mientras que en la Columna Localidad N°3, por tres filones que de base a techo poseen una potencia de 28, 57 y 9 cm.
- 5) **Litofacies Sh: arena muy fina a gruesa con laminación paralela.** En la parte media-superior de la Columna Localidad N°3, esta facies está representada por tres tramos: 42 y 184 cm de areniscas verdosas y 37 cm de areniscas pardo-amarillentas.

- 6) **Litofacies Sl: arena fina a gruesa con estratificación cruzada de bajo ángulo.** En la Columna Localidad N°2 está representada por 40 cm de arenisca parduzca fina a fina-media con estratificación cruzada en artesa de bajo ángulo a techo. Mientras que en la Columna Localidad N°3, por dos niveles de arenisca media-fina (coloración verdosa) y arenisca fina (coloración grisácea). En este último nivel, coexiste con la facies Sm.
- 7) **Litofacies Sm: arena fina a gruesa con laminación masiva o poco clara.** En la base de la Columna Localidad N°2, esta facies está representada por 216 cm de arenisca masiva verdosa de grano fino que grada a medio, con pátinas de óxido de hierro que se acentúan en los últimos 42 cm. Mientras que en la Columna Localidad N°3, está representada por cuatro niveles de arenisca masiva y distintas coloraciones. En la parte media de la columna, el nivel con facies Sm coexiste con la facies Sl representada a techo.
- 8) **Litofacies Smc: arena fina a gruesa, laminación masiva con lentes conglomerádicos.** Representada en tres niveles a lo largo de la Columna Localidad N°3. En la parte inferior, esta facies se encuentra en la base del tramo de 272 cm de areniscas verdosas con lentes conglomerádicos, coexistiendo con las facies St y Sl. En la parte media, se tienen 98 cm de areniscas parduzcas con lentes conglomerádicos en su base y lentes de arena gruesa en el techo. En la parte superior, se tiene un nivel cuya base posee lentes de arenas gruesas y coexiste con la facies St.
- 9) **Litofacies Smp: arena fina a muy gruesa con laminación masiva o poco clara y fósiles de plantas.** En el techo de la Columna Localidad N°3 esta facies está representada por 32 cm de arenisca pardo-amarillenta de granulometría media a fina. Posee fósiles de angiospermas liliopsidas, magnoliopsidas, equisetos y helechos.
- 10) **Litofacies Sr: arena muy fina a gruesa con laminación ondulosa u ondulitas.** Representada en la base de la Columna Localidad N°3, en el techo del nivel de 32 cm de areniscas grisáceas. Coexiste con la litofacies Sm.

- 11) **Litofacies St: arena fina a muy gruesa (puede ser conglomerádica) con estratificación cruzada en artesas solitarias o agrupadas.** En Columna Localidad N°3 está representada por dos niveles, tanto en la parte inferior como en la parte superior, coexistiendo con las facies Smc.

4.3.3. Elementos Arquitecturales

Se analizan las litofacies presentes en las columnas estratigráficas y se comparan con los elementos arquitecturales fluviales (Tabla 2) propuestos por Miall (2006), con el fin de realizar una interpretación del ambiente sedimentario de los niveles portadores de flora fósil.

Tabla 2: Cuadro resumen de elementos arquitecturales propuestos por Miall (1985; 2006). Se presenta el elemento arquitectural y el símbolo correspondiente para cada conjunto de facies.

CONJUNTO DE FACIES	ELEMENTO ARQUITECTURAL	SÍMBOLO
Cualquier combinación	Canales	CH
Gm, Gp, Gt	Barras y estructuras sedimentarias de gravas	GT
St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Relleno de canal arenoso	SB
St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Macroformas de acreción aguas abajo	DA
St, Sp, Sh, Sl, Se, Ss o menos	Macroformas de acreción lateral	LA
Gh, Gt, St, Sl	Hoyo de erosión sin orientación	HO
Gmm, Gmg, Gci, Gcm	Flujos sedimentarios gravitacionales	SG
Sh, Sl; en menor proporción Sp, Sr	Arenas laminadas	LS
Fsm, Fm, Fmp, Fl, Fr	Sedimentos finos de llanura de inundación	FF
Fl	Leeves	LV
St, Sr, Fl	Lóbulos de derrame	CS
St, Sr, Ss	Canales de derrame pequeños	CR
Fsm, Fl, Fm, Fr	Canal abandonado	CH (FF)

Por un lado, en la Columna Localidad N°2 se tiene hacia techo una asociación de litofacies Fm y Fmp los cuales podrían indicar sedimentos finos de llanura de inundación (FF). Al contemplar la totalidad de la columna, se logra apreciar que la combinación de litofacies correspondería al elemento arquitectural tipo canal (CH)

Por otro lado, en la Columna Localidad N°3, se tiene en la base un nivel de litofacies “Fl” la cual indica un elemento arquitectural tipo *Leeves* (LV), al estudiarlo en conjunto a los niveles adyacentes antes del contacto erosivo (Sm y Sr) se aprecia una combinación correspondiente a canal (CH).

A lo largo de la columna, en detalle, no se tienen asociaciones que indiquen algún otro elemento arquitectural. Sin embargo, al analizarla de manera general, se puede observar que la columna se divide en tres tramos competentes de areniscas: el primero con las litofacies “Sm, Smc, St y Sl”, el segundo con “Sm, Sl, Smc, Sh, Sm” y el tercero con “Sh, Smc y St”. Estos tramos al ser agrupados indican un elemento arquitectural correspondiente a macroformas de acreción lateral (LA).

4.3.3.1. Elemento arquitectural FF:

Representado en el techo de Columna Localidad N°2 por 86 cm de limolita pardo-amarillenta con fósiles de plantas en la base (Fmp) y laminación paralela hacia techo (Fm). Y en Columna Localidad N°3 por tres niveles de limolitas masivas (Fm) y dos con fósiles de plantas (Fmp). Los niveles poseen forma planar, geometría tabular con contactos netos y transicionales. Representa eventos de inundaciones que depositan material fino en suspensión en superficies planas que, en muchos casos, están expuestas a cambios estacionales que permiten el secado de la planicie y posterior desarrollo de paleosuelo (Miall, 2006).

4.3.3.2. Elemento arquitectural LV:

Representado por 32 cm de limolita pardo-amarillenta con laminación paralela (Fl), ondulitas hacia techo, materia orgánica y abundantes xilópalos en la base de la Columna Localidad N°3. El contacto en la base es neto y hacia techo es erosivo. Constituye una cuña de depósito estrecha, que se adelgaza y se afina alejándose del margen del canal (Miall, 2006).

4.3.3.3. Elemento arquitectural LA:

Representado por areniscas verdosas (parte inferior y superior de columna) y parduzcas (parte media), cuya granulometría varía desde fina a gruesa. Niveles caracterizados por presentar lentes conglomerádicos o de grano grueso (Smc), laminación paralela (Sh) y estratificación cruzada en artesa tanto de alto (St) como de bajo ángulo (Sl). Las areniscas presentan contactos netos, salvo en la parte inferior que posee base erosiva. Se interpreta como depósitos de acreción lateral cuando el flujo principal superficial incide en la orilla, ocasionando una elevación del nivel del agua (debido a la presión contra la orilla) y erosión activa de los taludes. El flujo desarrolla un patrón de vuelco helicoidal y se produce una sedimentación significativa en el banco, acumulándose lateralmente en un ángulo alto con respecto a la dirección principal del flujo (Miall, 2006).

4.3.3.4. Elemento arquitectural CH:

Representado a lo largo de ambas columnas realizadas. Conformado por múltiples niveles de limolita (Fl, Fm y Fmp) y areniscas (Sh, Sl, Sm, Smc, Smp, Sr y St), cuya granulometría varía desde muy fina hasta gruesa. Las litologías presentan ondulitas, laminación masiva, laminación paralela, estratificación cruzada en artesa de bajo y alto ángulo, lentes conglomerádicos y lentes de arena gruesa.

4.3.4. Asociaciones de litofacies

Las litofacies analizadas en las columnas de Localidad N°2 y Localidad N°3 fueron agrupadas en dos asociaciones de facies (AF), descritas a continuación:

4.3.4.1. AF1 – Planicies de inundación:

En Columna Localidad N°2 representa el 23,6%, mientras que en Columna Localidad N°3 el 13,7%. Conformada por areniscas muy finas de coloración grisácea con ondulitas (Sr), limolitas pardo-amarillentas masivas sin fósiles (Fm), masivas con fósiles (Fmp) y verdosas con laminación paralela fina y ondulitas (Fl). Arquitecturalmente, se compone por los elementos FF y LV. El contenido paleobotánico es abundante y diverso en la capa, con ejemplares de angiospermas liliopsidas, magnoliopsidas, equisetos y helechos. La predominancia de niveles finos con colores parduzcos variando a grisáceos y verdosos, sugiere una depositación en condiciones de baja energía (Matamala, 2022). La presencia de ondulitas y laminación paralela fina indica la acción de corrientes tractivas durante la etapa de inundación (Miall, 2006).

4.3.4.2. AF2 – Depósitos de canales:

En Columna Localidad N°2 representa el 70,3%, mientras que en Columna Localidad N°3 el 76,6%. Conformada por areniscas con laminación paralela (Sh), con estratificación cruzada en artesas (St), con estratificación cruzada en artesas de bajo ángulo (Sl), con laminación masiva o poco clara (Sm), masivas o laminación poco clara con lentes conglomerádicos o de grano más grueso (Smc), masivas o laminación poco clara con improntas foliares (Smc) y areniscas con ondulitas (Sr). Contempla los elementos arquitecturales tanto de canal (CH) como de macroformas de acreción lateral (LA). El contenido paleobotánico es muy similar al de Columna N°2.

5. PALEOBOTÁNICA

5.1. GENERALIDADES

El descubrimiento de niveles con flora fósil en la Formación San José permitió la colección de diversos ejemplares en un estado de preservación favorable, destacándose algunos con buena exposición de características diagnósticas, lo que hizo necesaria la confección de este apartado para estudiar y analizar el material y aportar al conocimiento paleobotánico de los yacimientos cenozoicos del sur de Chile.

5.1.1. Trabajos Anteriores

Durante el levantamiento geológico de las cartas geológicas “Geología del área Puerto Guadal-Puerto Sánchez” (De la Cruz y Suárez, 2006) y “Área Oriental de las Hojas Cochrane y Villa O’Higgins” (De la Cruz y otros, 2004) fueron señalados restos paleobotánicos por Troncoso (2003, comunicación escrita, en De la Cruz y Suárez, 2006) para la Formación San José, sin embargo, esto correspondería a una lista de taxones sin códigos, ilustraciones, fotografías ni descripciones asociadas. Identificando géneros tales como: *Omphalea patagónica* Berry, *Sterculia* spp. (1-2), *Cassia argentinensis* Berry, *Cupania romeroi* Troncoso, *Cupania latifolioides* Berry, *Pouterlabatia clarcki* Berry, *Myrcia reticulato-venosa* Engelhardt, *Myrcia chubutensis* Berry, *Myrcia* spp. (1-5), *Myrcia* cf. *nitens* Engelhardt, *Phoebe lanceolata* Engelhardt, *Phoebe lanceolata sensu* Berry, *Goniopteris patagoniana* Berry, *Phyllites coccolobaefolia* Engelhardt, *Leguminosites* sp., *Astronium* sp., *Neolitsea* spp. (1-2), *Heteropteris* sp., *Eucalyptus* sp., *Lomatia* sp., *Nectandra prolífica* Berry, *Ocotea* sp., *Ficus* sp., *Chlorophora* sp., *Callistemon* sp., *?Nothofagus simplicidens* Dusén; *?Rhamnidium* sp., cf. *Icica tertiaria* Berry (De la Cruz y Suárez, 2006).

Hasta la fecha, esto corresponde al único estudio de flora para la formación. Sin embargo, a continuación, se presenta el análisis paleoflorístico de algunas improntas foliares colectadas en el sector El Furioso, localidad de Pampa Castillo en el Parque Nacional Patagonia, Región de Aysén.

5.1.2. Localidades de Colecta

En el área de estudio se registraron puntos GPS en cada momento que se encontró uno o más ejemplares paleobotánicos, tanto los colectados *in-situ* como los de en superficie. Posteriormente estos puntos se agruparon en cinco localidades (Fig. 11):

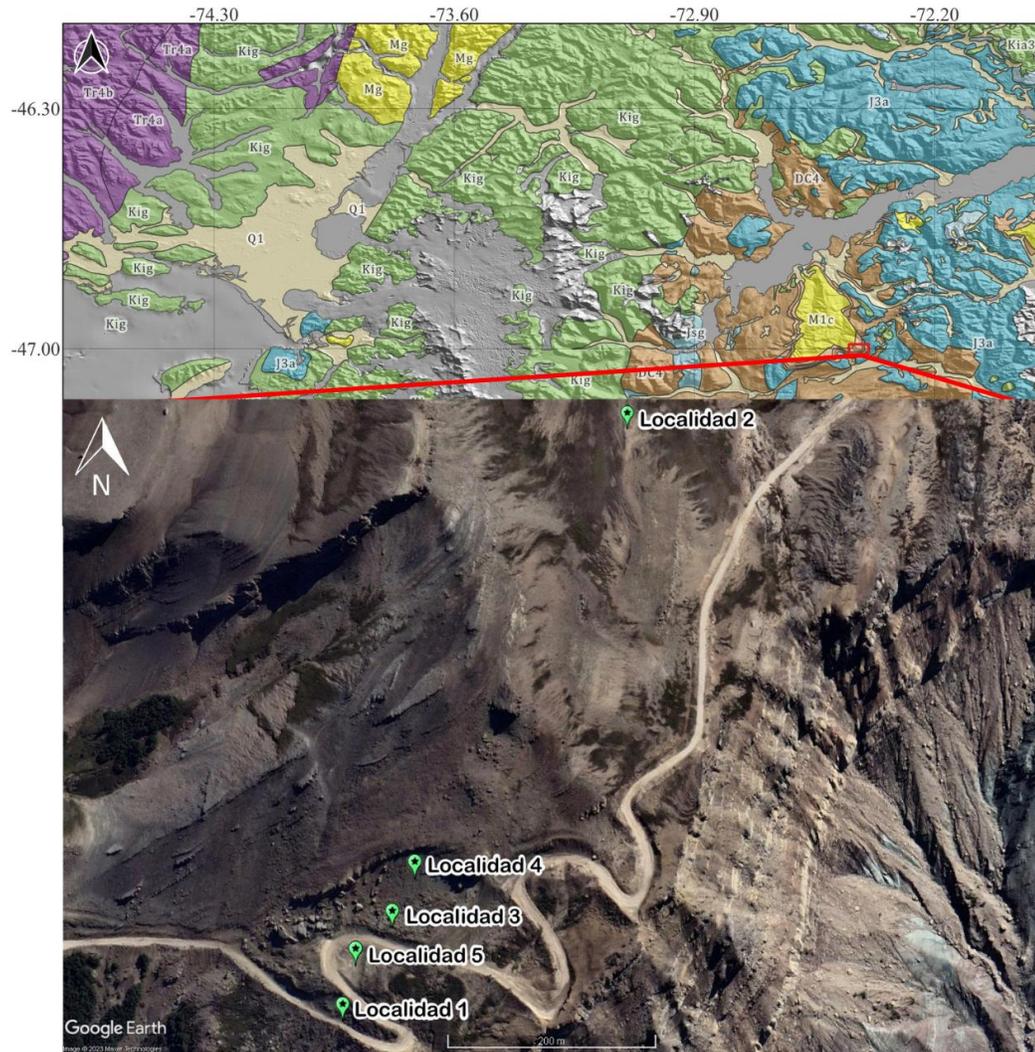


Figura 11: Localidades de colecta en sector El Furioso, localidad Pampa Castillo.

- **Localidad 1:** Coordenadas: 47.007747°; 72.414799°
- **Localidad 2:** Coordenadas: 47.002534°; 72.411017°
- **Localidad 3:** Coordenadas: 47.006989°; 72.414090°
- **Localidad 4:** Coordenadas: 47.006604°; 72.413794°
- **Localidad 5:** Coordenadas: 47.007272°; 72.414610°

5.2. DIVISIÓN MONILOPHYTA

5.2.1. Clase Equisetopsida

Es una clase que comprende a todas las plantas herbáceas perennes, con un rizoma subterráneo del que surgen raíces adventicias y tallos aéreos verdosos con ramas verticiladas, en los que se puede diferenciar una estructura articulada debido a la presencia de nudos y entrenudos. Este grupo de plantas vasculares alguna vez fue abundante, diverso y distribuido por todo el mundo, siendo característico del periodo Carbonífero (Schaffner, 1930).

Estas plantas poseen una larga historia geológica que se puede rastrear desde el Devónico hasta el Reciente (Taylor y otros, 2009). El género *Equisetites* Sternberg, establecido en un comienzo para especímenes conservados (moldes, impresiones y compresiones) que posean caracteres morfológicos macroscópicos similares al género *Equisetum* existente, fue elegido frecuentemente por investigadores para referirse a material del Paleozoico y Mesozoico, mientras que el género *Equisetum* para los especímenes del Cenozoico (Zamaloa y otros, 2022).

Los registros mesozoicos de Equisetales en América del Sur están representados por trece especies de *Equisetites* encontradas en varias localidades argentinas (Falaschi y otros, 2009) y por dos especies de *Equisetum* en la Patagonia argentina (Channing y otros, 2011; Elgorriaga y otros, 2015). Sin embargo, durante la mayor parte del Cenozoico, son notoriamente escasos.

5.2.1.1. Orden **EQUISETALES** *sensu* Boureau, 1964:

Familia **EQUISETACEAE** *sensu* Good, 1975

Género *Equisetum* Linnaeus, 1753

Equisetum sp.

Material estudiado: MURAY.PB.043; 044A (Fig. 12-G, H, I); 045 (Fig. 12-E); 046 (Fig. 12-A); 053B; 060C; 068B; 072C; 075B; 095B; 155B (Fig. 12-B, D); 156B; 198B (Fig. 12-F) y 217B (Fig. 12-C).

Descripción: Fragmentos de tallos rectos comprimidos. Estriados longitudinalmente por ~10 costillas más menos paralelas que se entrelazan en nudos. Presencia de nudos, entrenudos, carenas, valéculas y fragmentos vegetativos con ramificaciones. Ausencia de hojas, estróbilo y rizoma. La

longitud es variable y el grosor de los tallos en general es de ~10 mm. La muestra más pequeña (Fig. 12-C) posee ~20 mm de largo y 3 mm de ancho, debido a su grosor probablemente corresponda a una ramificación y no a un tallo.

Rodríguez (2015) propone restablecer el género *Equisetum pyramidale* Goldm para diferenciar ciertos equisetos clasificados como *E. giganteum* L. y que eran visiblemente distintos. De esta forma, los equisetos que tuviesen tallos de 0,7 a 1,5 cm de diámetro, débiles, con costillas definidas algo sobresalientes y vainas del tallo principal con 6 a 9 dientes, se clasificarían como *E. pyramidale*, mientras que aquellos que tuviesen un diámetro mayor a 1,5 cm, rígidos, sin costillas sobresalientes y vainas del tallo principal con 10 dientes, se clasificarían como *E. giganteum*. Siguiendo estas claves, los ejemplares estudiados parecieran corresponder a *E. pyramidale*. Sin embargo, para una clasificación taxonómica acertada es necesaria la presencia de estructura reproductiva, la cual no se ha encontrado en los fósiles colectados.

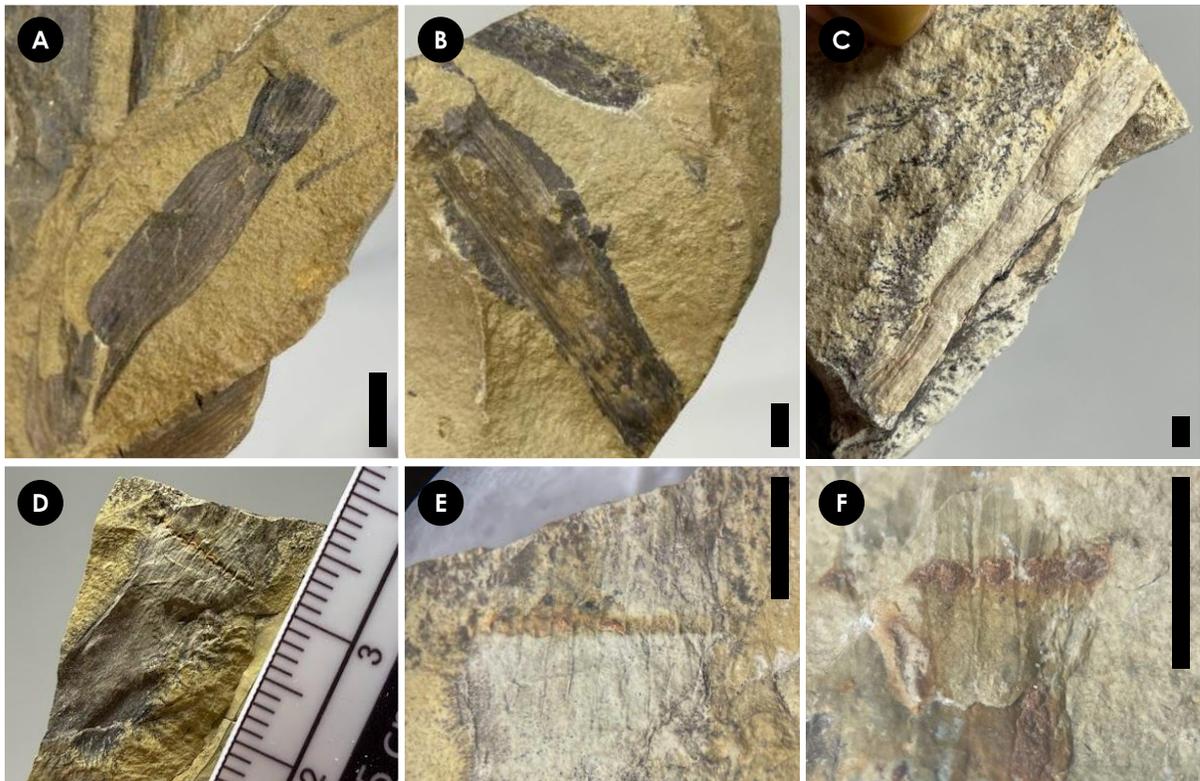


Figura 12: Orden Equisetales. (A-C) Tallos aéreos de lados paralelos con crestas y surcos longitudinales, junto a sus nudos y entre nudos. (D) Fragmento de tallo con nudo y estrías longitudinales. (E-F) Detalle de nudos con sus carenas y valéculas respectivas. Barra = 5 mm.

5.2.2. Clase Filicopsida

Los helechos, que comprenden alrededor de 12,000 especies, son conocidos como plantas sin semillas y constituyen el segundo grupo más diverso de plantas vasculares después de las angiospermas (Sessa y otros, 2015).

En el registro fósil, la identificación presenta numerosos desafíos en comparación con los helechos modernos. Es complicado distinguir entre frondas simples y pinnas aisladas de frondas pinnadas compuestas (Cieraad, 2003). Además, los helechos raramente denotan la organización de las frondas y no se logran preservar caracteres diagnósticos como la anatomía peciolar, indusio o rizoma debido a que son fósiles de compresión o impresión (Collinson, 2001).

A nivel mundial, existen importantes lagunas en el registro de macrofósiles de helechos del Cenozoico, y se requiere una revisión exhaustiva de numerosos fósiles debido a la evolución de la clasificación de los helechos y la tendencia previa de asignar un fósil a un taxón actual (Collinson, 2001). Esta situación es aún más crítica cuando se trata de floras fósiles sudamericanas, que han sido menos estudiadas que las del hemisferio norte (Machado y otros, 2021).

5.2.2.1. Morfotipos:

Para una mejor comprensión de los caracteres, los ejemplares de helechos fueron agrupados según sus características morfológicas en los siguientes morfotipos:

➤ **MORFOTIPO N°1:** Figura 13 – A (Anexo N°5 – A y a).

Material estudiado: MURAY.PB.048; 049; 050; 051.A; 052; 053A; 054A; 055; 056; 057; 058; 059; 060A; 061; 062A; 063; 064; 065A; 066; 067; 068A; 069; 070; 071A; 078; 079; 080A; 083A; 084A; 095 y 117.

Descripción: Fronda pinnada-pinnatífida de por lo menos 15 cm largo y ancho variable, forma probablemente ovada a oblonga. Los fragmentos de pinnas poseen entre 10-15 cm de largo y ~1 cm de ancho. Presentan ápice acuminado (Anexo n°6 – A), dispuestas de manera opuesta a sub-alterna y divergen en ángulos de 40-50° desde el raquis. Segmentos camptódromos de forma oblonga-trianguulares, generalmente falcados, entre ellos se definen senos agudos. Margen entero con lóbulos diminutos y ápice obtuso. Poseen en general 7 mm de largo y ~3 mm de ancho. Divergen en ángulos de 60-75° con respecto a la costa. Presenta 8-10 pares de venas libres y

simples, excepto el primer (y a veces el segundo) par basal de segmentos vecinos que se anastomosan hacia el seno. El espaciado de las venas es uniforme y diverge regularmente a $\sim 50^\circ$ desde la costula levemente acanalada. Segmentos basales reducidos (Anexo N°6 – B). Soros redondos a ligeramente elípticos, se encuentran dorsalmente en las venas, lejos del margen, en líneas casi paralelas a la costula (Anexo n°6 – C).

➤ **MORFOTIPO N°2:** Figura 13 – B (Anexo n°5 – B y b).

Material estudiado: MURAY.PB.087; 089A; 091; 092; 094; 095A; 096A; 097A; 098A; 099; 100; 111A; 113; 116; 123; 129; 130A; 118; 119; 120A; 121A; 122; 124; 125; 126; 127; 128A; 129; 130; 131A; 133 y 143.

Descripción: Fragmentos de pinnas poseen entre 3-10 cm de largo y $\sim 1,7$ cm de ancho, forma oblonga-linear, ápice recto (Anexo n°6 – D), disposición sub-opuesta y ángulo de emergencia de $\sim 30^\circ$ desde el raquis. Segmentos camptódromos de forma oblonga-trianguulares, entre ellos se definen senos agudos. Margen entero y ápice obtuso. Poseen en general 9 mm de largo y ~ 3 mm de ancho. Divergen en ángulos de $65-75^\circ$ con respecto a la costa. Presenta 8-9 pares de venas libres y simples, excepto el primer (y a veces el segundo) par basal de segmentos vecinos que se fusionan formando una areola triangular de la cual diverge una vena larga excurrente que termina en el seno (Anexo n°6 – E). El espaciado de las venas es uniforme y diverge regularmente a $40-50^\circ$ desde la costula levemente acanalada. Soros redondeados, se encuentran dorsalmente en las venas, lejos del margen, en líneas casi paralelas a la costula (Anexo n°6 – F).

➤ **MORFOTIPO N°3:** Figura 13 – C (Anexo n°5 – C y c).

Material estudiado: MURAY.PB.068A; 069; 072A; 073; 075A; 076A; 077; 078; 081A; 082A; 104 y 107A.

Descripción: Fronda pinnada-pinnatífida de por lo menos 20 cm de largo y ~ 10 cm de ancho. Las pinnas miden por lo menos 5 cm de largo y 2 cm de ancho. Ápice desconocido, se encuentran dispuestas de forma sub-alterna y divergen en ángulos de $45-55^\circ$ desde el raquis. Segmentos camptódromos de forma oblonga, generalmente falcadas, entre ellos se definen senos agudos. Margen entero y ápice acuminado hacia el ápice de la pinna. Poseen en general 13 mm de largo y 3-4 mm de ancho. Divergen en ángulos de $60-70^\circ$ con respecto a la costa. Presenta 10-15 pares de venas libres y simples, excepto el primer (y a veces el segundo) par basal de segmentos vecinos que convienen en el seno. El espaciado de las venas es uniforme y diverge regularmente a $30-40^\circ$

desde la costula. Soros redondos a ligeramente elípticos sub-marginales, se encuentran dorsalmente en las venas, en líneas casi paralelas a la costula (Anexo n°6 – G).

➤ **MORFOTIPO N°4:** Figura 13 – D (Anexo n°5 – D y d).

Material estudiado: MURAY.PB.048; 058; 074; 79A; 081A; 088; 090A; 104; 107A; 108A; 109; 110; 111A; 112; 113; 114A; 115; 116; 129; 134; 136; 137; 142; 148.

Descripción: Fronda pinnada-pinnatífida de largo y ancho desconocido. Los fragmentos de pinnas poseen por lo menos 10 cm de largo y ~1 cm de ancho. Su forma y disposición con respecto al raquis es desconocida. Segmentos de forma oblonga, entre ellos se definen senos agudos. Margen entero y ápice redondeado. Poseen en general 6 mm de largo y ~4 mm de ancho. Divergen en ángulos de ~70° con respecto a la costa. Presenta 7-9 pares de venas libres y simples, excepto el primer (y a veces el segundo) par basal de segmentos vecinos que se fusionan formando una areola triangular de la cual diverge una vena larga excurrente que termina en el seno. El espaciado de las venas es uniforme y diverge regularmente a 50-55° desde la costula. Costulas marcadamente acanaladas. Segmentos basales reducidos (Anexo n°6 – H). Soros redondos, se encuentran dorsalmente en las venas, lejos del margen, en líneas casi paralelas a la costula.

➤ **MORFOTIPO N°5:** Figura 13 – E (Anexo n°5 – E y e).

Material estudiado: MURAY.PB.106; 059; 135; 138; 139 y 140.

Descripción: Fronda pinnada-pinnatífida de largo, ancho y forma desconocida. Fragmentos de pinnas que poseen por lo menos 10 cm de largo y ~1 cm de ancho. Ápice y disposición de pinnas desconocida, divergen en ángulos de 45-50° desde el raquis. Segmentos catádromos de forma oblonga, entre ellos se definen senos agudos. Margen entero y ápice obtuso a levemente recto, poseen en general 5 mm de largo y ~3 mm de ancho. Divergen en ángulos agudos de 50-55° con respecto a la costa. Presenta 4-7 pares de venas libres y simples, excepto el primer (y a ocasionalmente el segundo) par basal de segmentos vecinos que se anastomosan hacia el seno (Anexo n°6 – I). El espaciado de las venas es uniforme y diverge regularmente a 40-50° desde la costula. Costulas marcadamente acanaladas. Segmentos basales reducidos. Soros no visibles.

➤ **MORFOTIPO N°6:** Figura 13 – F (Anexo n°5 – F y f).

Material estudiado: MURAY.PB.085; 86; 108A; 139 y 141.

Descripción: Fragmentos de pinnas que poseen ~5 cm de largo y ~1 cm de ancho. Forma, ápice y disposición desconocidas. Segmentos con forma ovada a oblonga, entre ellos se definen senos agudos. Margen entero y ápice recto orientado hacia el ápice. Poseen en general 6 mm de largo y ~4 mm de ancho. Divergen en ángulos de 55-60° con respecto al raquis de la pinna. Presenta 7-9 pares de venas libres y simples, excepto el primer par basal de segmentos vecinos que se anastomosan hacia el seno. El espaciado de las venas es uniforme y diverge regularmente a 30-40° desde la costa.

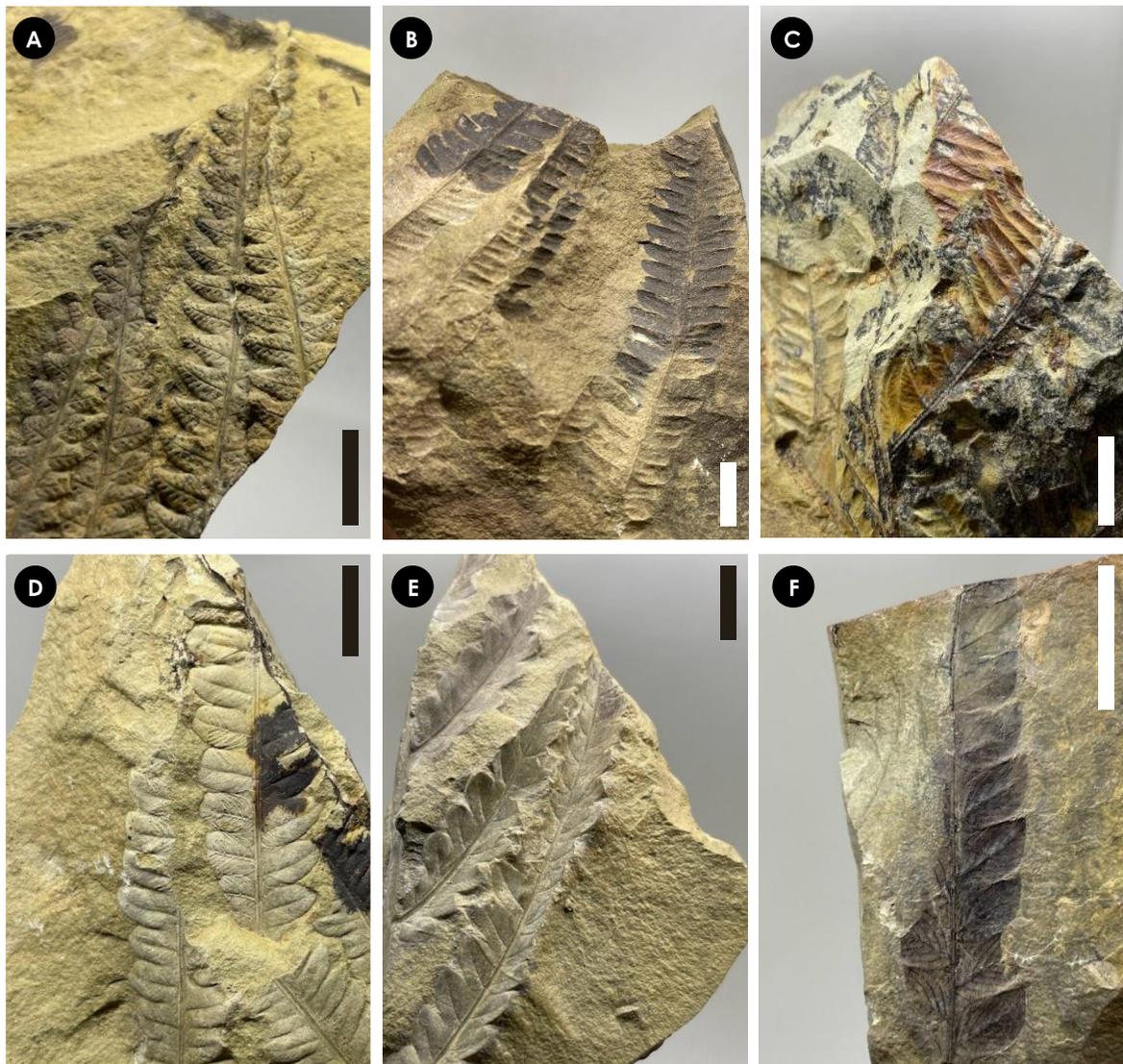


Figura 13: Orden Filicopsida. (A) Morfotipo 1: MURAY.PB.084. (B) Morfotipo 2: MURAY.PB.091. (C) Morfotipo 3: MURAY.PB.069. (D) Morfotipo 4: MURAY.PB.048. (E) Morfotipo 5: MURAY.PB.139. (F) Morfotipo 6: MURAY.PB.086. Barra = 1 cm.

5.2.2.2. Taxonomía:

A pesar de que los fósiles raramente denotan la organización de las frondas, los pelos o anatomía peciolar debido a que son fósiles de compresión o impresión, la presencia de segmentos y venas catádomas, combinadas con una venación simple (no bifurcada) con venas secundarias basales conniventes en el seno o unidas debajo de él, son caracteres que indican afinidad con la familia Thelypteridaceae Ching ex Pic.Serm. (Collinson, 2001).

La familia Thelypteridaceae (Ching, 1940) es muy diversa, con alrededor de 1.190 especies, concentra el 10% del total de la diversidad de helechos (Fawcett, 2020). Los enfoques para la clasificación de la familia han variado, desde el reconocimiento de un solo género, *Thelypteris* (Morton, 1963), hasta 32 géneros (Pichi Sermolli, 1977). En el presente trabajo se utiliza la clasificación consensuada elaborada por el *Pteridophyte Phylogeny Group* (PPG I, 2016).

Al analizar las diagnósis, se logra apreciar una gran similitud entre los morfotipos, diferenciándose a simple vista en su relación largo-ancho de los segmentos y en los ápices de estos, sin embargo, estas características pueden variar por factores ontogénicos. La diferencia clave radica en el patrón de venación, en donde se distinguen 2 grupos principales:

- **Grupo 1:** Venas laterales libres que terminan en el margen. El par basal o más venas, libres o conniventes, alcanzan el margen justo en el seno o no lo alcanzan, terminando por debajo de él (Tipo 2 en Ponce, 1987): morfotipos 1, 3 y 5.
- **Grupo 2:** Venas laterales libres que terminan en el margen, excepto el par basal que se une formando una vena excurrente que llega al seno (Tipo 3 en Ponce, 1987): morfotipos 2, 4 y 6.

Al comparar los ejemplares estudiados con *Goniopteris patagoniana* Berry, nombrada en el listado elaborado por Troncoso (comunicación escrita, 2003 en De la Cruz y Suárez, 2006). Se logra apreciar una diferencia importante en cuanto a la venación. Los morfotipos 1 y 3 del grupo 1 poseen una mayor cantidad de venas en los segmentos que varía entre 8-15 pares, versus 4-5 de *G. patagoniana*.

El morfotipo 5 es el que más se asemeja al descrito por Berry (1938), con 4-7 pares de venas, sin embargo, es difícil estar seguro acerca de los fósiles de *Goniopteris* debido a que el indumento es fundamental para el diagnóstico (Fawcett, comunicación escrita, 2023) y es algo que no se tiene preservado en el registro. Con respecto al grupo 2 (morfotipos 2, 4 y 6), las venas basales de los segmentos adyacentes convergen en un punto formando un triángulo y una vena excurrente que alcanza el seno, lo que contrasta con *G. patagoniana* donde no se desarrolla tal vena (Berry, 1938) y lo asemeja ampliamente a la especie pantropical actual *Cyclosorus interruptus*.

Si bien, el morfotipo 3 ha sido clasificado dentro del grupo 1, la cantidad de venas por segmento es una característica que no comparte con los otros morfotipos. La diagnosis es bastante similar a la de *Thelypteris grandis* var. *Kunzeana*, por lo que podría ser atribuible a esa especie. Sin embargo, Fawcett (comunicación escrita, 2023) indica que *T. grandis* actualmente se trata como *Palezoneuron abruptum* y que también podría corresponder a una variación de *Cyclosorus interruptus* neotropical, el cual posee segmentos más alargados de lo normal.

Finalmente, el morfotipo 1 presenta segmentos con forma ligeramente falcada y diminutas protuberancias o lóbulos en el margen, lo cual es diagnóstico de la especie actual africana *Cyclosorus striatus*.

5.3. DIVISIÓN MAGNOLIOPHYTA

Conocidas también como “angiospermas” del griego *angeion* (vaso) + *permos* (semilla), término que fue acuñado en 1690 por el botánico alemán Paul Hermann para referirse a aquellas plantas que tienen sus semillas contenidas, en contraste con las “gimnospermas” cuyas semillas se encuentran expuestas (Wang, 2023).

Conocidas ampliamente como “plantas con flores”, tienen su origen hace aproximadamente 130 millones de años según el contenido fosilífero. Sin embargo, análisis moleculares han indicado un origen más temprano, alrededor de 200 ± 40 Ma (Wolfe y otros, 1989) o entre 140-190 Ma (Sanderson y Doyle, 2001). Esta discrepancia posiblemente se deba a que, en sus primeras etapas, las angiospermas eran escasas y, por lo tanto, difíciles de identificar en los registros fósiles (Sanderson y Doyle, 2001).

Son el grupo de plantas terrestres más exitoso en términos de diversidad de especies; en poco tiempo se convirtieron en un componente predominante de las comunidades vegetales terrestres, llegando a existir en la actualidad más de 300.000 especies, lo que representa más del 90% de la diversidad total de las plantas (Crepet y Niklas, 2009).

Las angiospermas han sido divididas tradicionalmente en magnoliopsidas y liliopsidas. Las magnoliopsidas, también conocidas como dicotiledóneas, están representadas por 176.075 especies incluidas en alrededor de 9.825 géneros repartidos en 345 familias (Thorne, 1992), mientras que las liliopsidas, también conocidas como monocotiledóneas, son un grupo más compacto de 61.555 especies en 2.744 géneros repartidos en 103 familias (Dahlgren y otros., 1985). A continuación se describen ejemplares, pertenecientes a las clases Magnoliopsida y Liliopsida, encontrados en la Formación San José, sector El Furioso.

5.3.1. Clase Magnoliopsida

5.3.1.1. Orden **APIALES** Decaisne y Planchon, 1854:

Familia **ARALIACEAE** Jussieu, 1789

Género *Oreopanax* Decaisne y Planchon, 1854

cf. *Oreopanax guiñazui* Berry, 1938

Material estudiado: MURAY.PB.208 y 210 (Fig. 14 – A).

Descripción: Fragmento de hoja entera lobulada. Forma incierta, se infiere ovada. Tamaño de lámina *nothophyll*. Relación L:W de ~1:1. Largo de por lo menos 7 cm y ancho presuntamente mayor a 8 cm. Lóbulos de forma ovada, gruesos, generalmente 3, separados por senos redondeados. Margen incierto debido a la preservación, sin embargo, pareciera ser entero y, en ciertas partes, dentado. Ápice de ángulo y forma desconocidos. Base de ángulo incierto, sin embargo, se infiere *reflex*. Forma de base desconocida. Venación primaria palmada. Venación secundaria inconsistente, la cual nace con un ángulo variable en disposición opuesta a sub-opuesta con respecto a la nervadura principal. Espaciamiento variable entre 6 a 10 cm. Venación terciaria reticulada. Textura coriácea inferida.

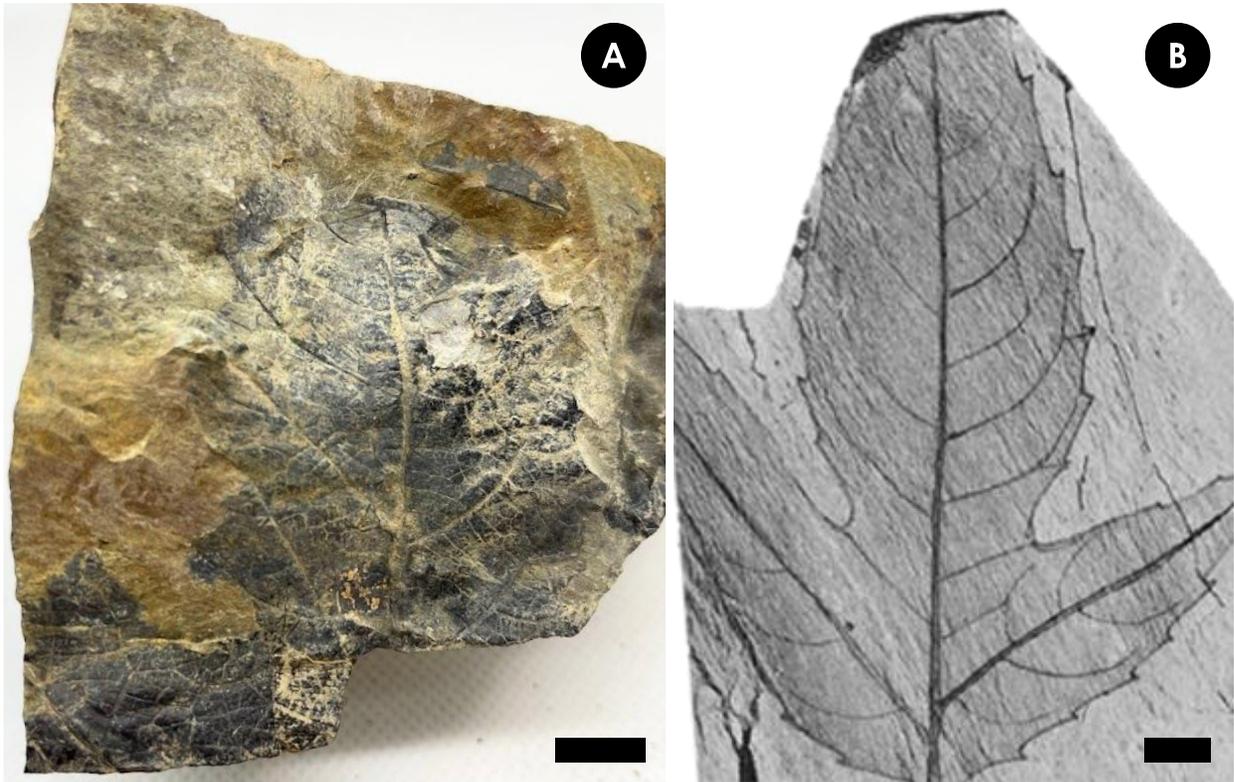


Figura 14: Orden Apiales. (A) Fragmento fósil de cf. *Oreopanax guiñazui* Berry. (B) Dibujo esquemático de *Oreopanax guiñazui* elaborado por Berry (1938). Barra = 1 cm.

5.3.1.2. Orden **FAGALES** Engler, 1892:

Familia **NOTHOFAGACEAE** Kuprianova, 1962

Género *Nothofagus* Blume, 1851

Nothofagus alpina (Poeppig y Endlicher, 1838) Ørsted, 1871

Material estudiado: MURAY.PB.213 (Fig. 15 – A y B) y 214.

Descripción: Fragmento de hoja entera pinnada. Forma de lámina inferida ovada a levemente oblonga. Tamaño de lámina *nano-microphyll*. Relación “Largo-Ancho” (en adelante L:W) de 3:2. Se infiere un largo mayor a 3 cm y un ancho de por lo menos ~2 cm. Margen ondulado finamente serrado. Ápice de ángulo agudo, forma desconocida. Base de ángulo obtuso, forma desconocida, sin embargo, se infiere redondeada. Venación secundaria craspedódroma, marcadamente recta y densamente espaciada cada 2 mm, la cual nace en disposición opuesta a ~40° con respecto a la nervadura principal.

Género *Nothofagus* Blume, 1851

Nothofagus subferruginea (Dusén, 1899) Tanai, 1986

Material estudiado: MURAY.PB.217A (Fig. 15 – D) y 219 (Fig. 15 – E).

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma de lámina elíptica a ovada. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W de 3:1. Largo de por lo menos 6 cm, ancho de ~2 cm. Ápice de ángulo agudo, forma redondeada. Base de ángulo obtuso, forma incierta. Margen dentado doble. Venación secundaria craspedódroma y espaciada cada 3-4 mm, la cual nace en disposición opuesta a sub-alterna con ángulo que varía entre 45° y 70° con respecto a la nervadura principal.

Género *Nothofagus* Blume, 1851

Nothofagus sp. 1

Material estudiado: MURAY.PB.164 (Fig. 15 – C) y 215.

Descripción: Fragmento de hoja entera pinnada. Forma ovada a levemente oblonga. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W incierta. Se infiere un largo de por lo menos 8 cm y un ancho de ~5 cm. Margen dentado. Ápice y base desconocidos, sin embargo, se infiere una base de forma redondeada. Venación secundaria craspedódroma, de disposición desconocida con respecto a venación primaria y espaciamiento de ~7 mm.

Género *Nothofagus* Blume, 1851

Nothofagus sp. 2

Material estudiado: MURAY.PB.218 (Fig. 15 – F).

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma redondeada-elíptica. Tamaño de lámina *nanophyll*. Relación L:W de 3:2. Largo de 2,6 cm y ancho de 1,5 cm. Margen dentado. Se infiere un ápice de ángulo obtuso y forma redondeada. Base de ángulo obtuso y forma redondeada. Venación secundaria craspedódroma, de espaciamiento 2 mm, la cual nace con un ángulo de ~65° con respecto a la nervadura principal. Se infiere que dicha muestra corresponde a una etapa juvenil del género.

Familia **FAGACEAE** Dumortier, 1829
Género *Dryophyllum* Debey ex Saporta, 1868
“Dryophyllum” australis Berry, 1937

Material estudiado: MURAY.PB.216 (Fig. 15 – G).

Descripción: Fragmento de hoja entera pinnada. Forma ovada. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W desconocida, se infiere 2:1. Largo mayor a 7 cm y ancho de ~5 cm. Ángulo y forma de ápice desconocidos. Base de ángulo obtuso y forma redondeada inferida. Margen finamente serrado. Venación secundaria craspedódroma dispuesta de manera opuesta a sub-opuesta, naciendo con un ángulo de 40-50° con respecto a la nervadura principal. Su curso comienza recto y se curva ligeramente hacia el ápice llegando al margen.

El ejemplar es similar al descrito como *“Nothofagus* sp. aff. *N. Alessandri*” por Panti (2019), sin embargo, posee una descripción mucho más afín al ejemplar “MPEF-Pb-2022” del “Morfotipo SA004” de Iglesias y otros (2021) clasificado como *“Dryophyllum” australis* (Berry, 1937).

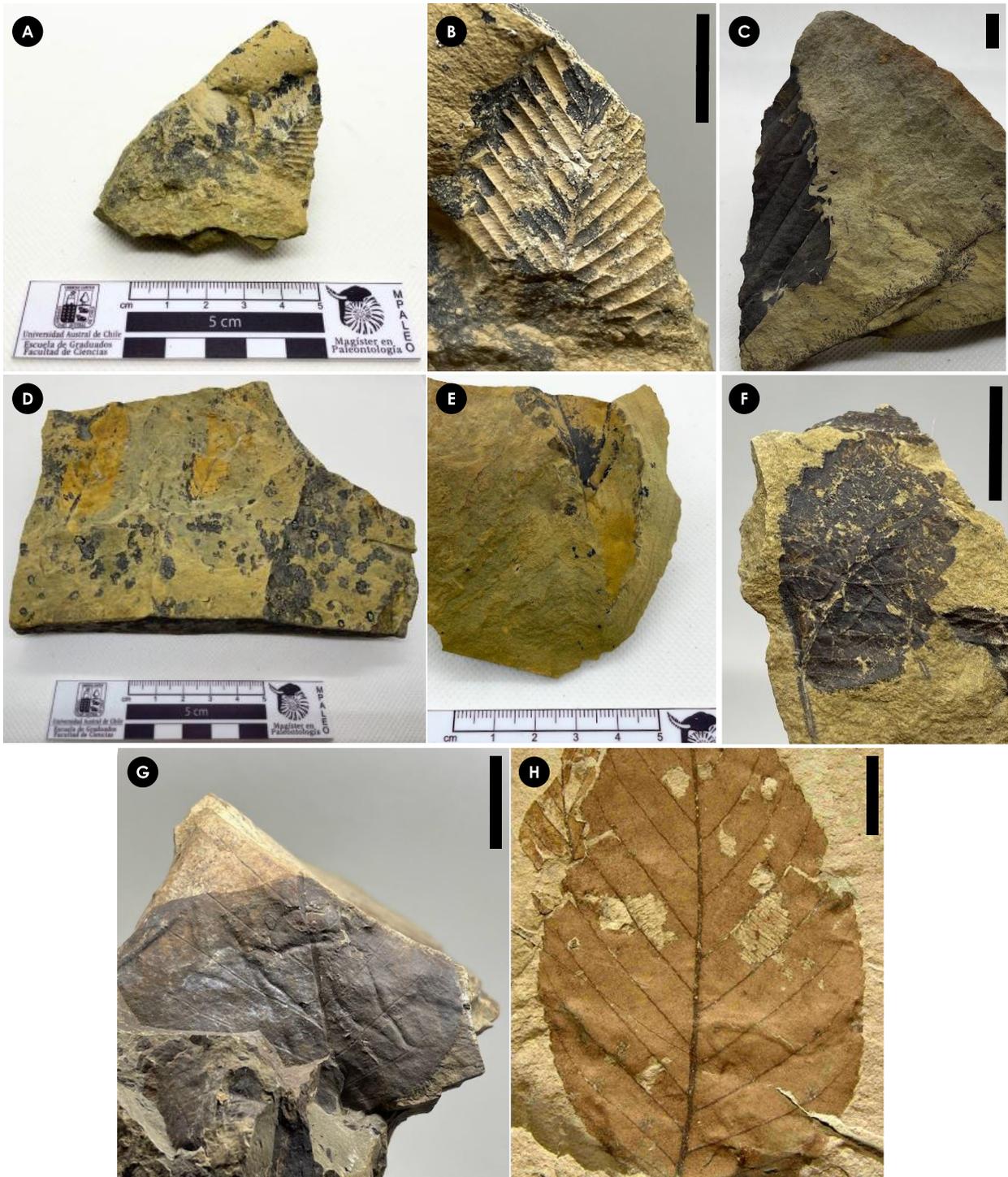


Figura 15: Orden Fagales. (A) Fósil de *Nothofagus alpina*. (B) Acercamiento de muestra anterior para apreciar su venación secundaria prominente y dientes. (C) Fragmento de *Nothofagus* sp.1. (D-E) *N. subferruginea*. (F) *Nothofagus* sp.2. (G) Fragmento de “*Dryophyllum*” *australis* Berry. (H) Ejemplar MPEF-Pb-2022 del Morfortipo SA004 de Iglesias y otros (2021). Barra = 1 cm.

5.3.1.3. Orden GENTIANALES Jussieu ex Berchtold y Presl, 1820:

Familia **APOCYNACEAE** Jussieu, 1789 / Endress y Bruyns, 2000

Género *Apocynophyllum* Linnaeus, 1753

cf. *Apocynophyllum chilense* Engelhardt, 1891

Material estudiado: MURAY.PB.162 (Fig. 16 – A y B).

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma de lámina lanceolada. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W de 2:1. Largo de por lo menos 6 cm, ancho de 3 cm. Margen entero. Ángulo y forma de ápice desconocidas, sin embargo, se infiere un ángulo agudo. Base de ángulo agudo y forma incierta. Venación secundaria camptódroma, dispuesta de manera opuesta a sub-alterna, se curva hacia el ápice casi llegando al margen, uniéndose con la vena siguiente antes de llegar al borde de la lámina. Espaciamiento distal de ~1 cm entre las venas. Nace con un ángulo de 55-65° con respecto a la nervadura principal.

Familia **RUBIACEAE** Jussieu, 1789

Género *Remijia* De Candolle, 1827

cf. *Remijia tenuiflorifolia* Berry, 1938

Material estudiado: MURAY.PB.164 (Fig. 16 – C).

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma lanceolada. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W de 4:1. Largo de ~9 cm y ancho de 2 cm. Margen entero, localmente ondulado, posiblemente debido a la preservación. Ápice de ángulo agudo y forma incierta, se infiere entre acuminada y aguda. Base de ángulo agudo y forma incierta. Venación secundaria camptódroma delgada, dispuesta de manera opuesta a sub-opuesta. Espaciamiento normal de 6 mm. Nace recta con un ángulo de 50-55° con respecto a la nervadura principal, curvándose levemente hacia el ápice antes de llegar al margen, uniéndose con la vena superior (Fig. 16 – D). El ejemplar estudiado posee marcas de herbivoría. Se diferencia del ejemplar MURAY.PB.162. clasificado como cf. *Apocynophyllum chilense* debido a que poseen características morfológicas distintas en cuanto a relación L:W y espaciamiento de venación secundaria.



Figura 16: Orden Gentianales. **(A)** Fósil de cf. *Apocynophyllum chilense*. **(B)** Acercamiento del ejemplar anterior para una mejor visualización de su venación. **(C)** cf. *Remijia tenuiflorifolia*. **(D)** Dibujo esquemático de *Remijia tenuiflorifolia* elaborado por Berry (1938). **Barra = 1 cm.**

5.3.1.4. Orden **LAURALES** Perleb, 1826:

Familia **LAURACEAE** Jussieu, 1789

Género *Ocotea* Aublet, 1775

***Ocotea* sp.**

Material estudiado: MURAY.PB.165 y 200 (Fig. 17 – A).

Descripción: Fragmento de hoja entera pinnada. Forma de lámina ovada. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W de 2:1. Largo de ~6 cm y ancho de 3,5 cm. Margen entero. Ápice de ángulo agudo y forma incierta. Base de ángulo obtuso y forma redondeada. Venación secundaria camptódroma. Espaciamiento desigual, siendo mayor (1,3 cm) cerca de la base. Venas nacen en disposición opuesta a sub-opuesta con un ángulo variable $\leq 45^\circ$ con respecto a la nervadura principal, emergen rectas y cercano al margen se curvan para unirse con la vena superior. Venación terciaria reticulada y sinuosa. Las muestras poseen una diagnosis que coincide ampliamente con la de *Ocotea* sp. (Fig. 17 – B) descrita en Vento y Prámparo (2018).

Género **Cinnamomum** Schäffer, 1760

? *Cinnamomun* sp.

Material estudiado: MURAY.PB.238; 239 y 245 (Fig. 17 – C).

Descripción: Fragmento de hoja entera. Venación acródroma basal, posee tres venas: dos secundarias espaciadas a 5 mm con respecto a una central. Forma incierta, probablemente elíptica a ligeramente oblonga. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W desconocida, se infiere una de 1:2. Largo de por lo menos 4 cm y ancho de ~2 cm. Margen entero. Ángulo y forma de ápice desconocidos. Base de ángulo obtuso y forma cuneada. Venación secundaria emerge del punto basal con un ángulo de $\sim 30^\circ$ para luego poseer una trayectoria casi paralela a la vena principal. Venación terciaria dispuesta de forma pseudo-ortogonal con respecto a las venas longitudinales, con forma convexa a sinuosa.

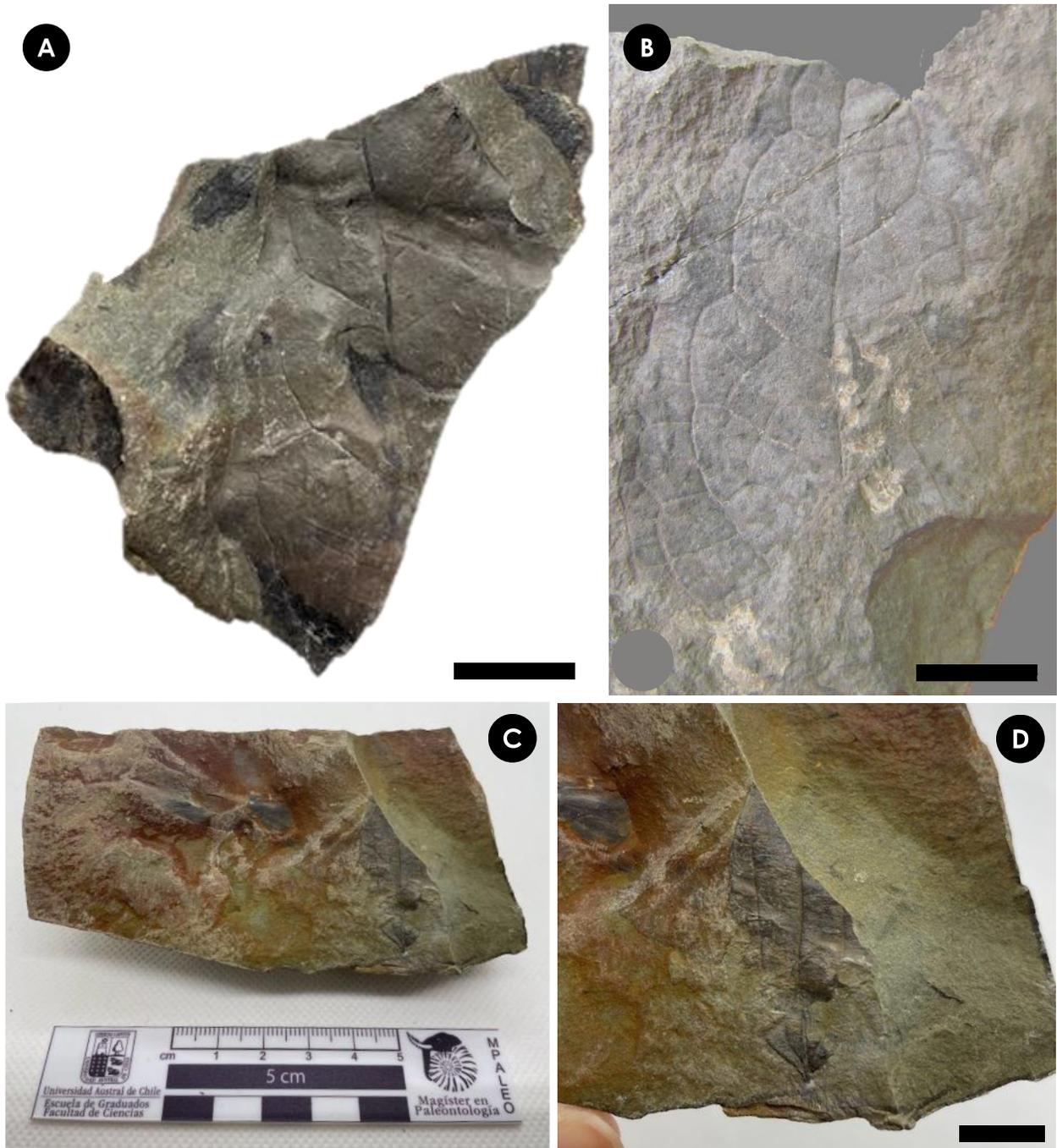


Figura 17: Orden Laurales. **(A)** Fragmento fósil de *Ocotea* sp. **(B)** Ejemplar “CPB3165” clasificado como *Ocotea* sp. por Vento y Prámparo (2018). **(C)** Fragmento fósil de *Cinnamomun* sp. **(D)** Acercamiento de imagen anterior con el fin de observar su venación. **Barra = 1 cm.**

5.3.1.5. Orden **MAGNOLIALES** Jussieu ex Berchtold y Presl, 1820:

Familia **MYRISTICACEAE** Brown, 1814

Género *Myristica* Gronovius, 1755

Myristica fossilis Engelhardt, 1891

Material estudiado: MURAY.PB.195 (Fig. 18 – A y B); 196; 197 y 198.

Descripción: Fragmento casi completo de hoja entera pinnada. Forma oblonga. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W de 3:1. Largo de por lo menos 6 cm y ancho de 2 cm. Margen entero. Ápice de ángulo agudo y forma incierta, sin embargo, se infiere recto. Base de ángulo obtuso y forma redondeada. Venación secundaria camptódroma, mayoritariamente opuesta a sub-opuesta, bien espaciada cada 5 mm. Nace con un ángulo de $\sim 80^\circ$ con respecto a la nervadura principal, curvándose hacia el ápice a medida que se dirige hacia el margen.

Las muestras MURAY.PB.196 y 197 han sido clasificadas como cf. *Myrcia fossilis*, pues podrían también corresponder a lóbulos de *Sterculia acuminataloba*, sin embargo, se requieren de ejemplares que posean una base preservada para una correcta asignación taxonómica.



Figura 18: Orden Magnoliales. (A) Fragmento fósil de *Myristica fossilis* afectado por líquenes. (B) Acercamiento de imagen anterior. (C) Dibujo esquemático de *Myristica fossilis* Engelhardt elaborado por Berry (1938). Barra = 1 cm.

5.3.1.6. Orden **MALVALES** Jussieu ex Berchtold y Presl, 1820:

Familia **MALVACEAE** Jussieu, 1789

Género ***Bombax*** Linnaeus, 1753

***Bombax* sp.**

Material estudiado: MURAY.PB.165 (Fig. 19 – A y B) y 166 (Fig. 19 – C).

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma obovada. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W de 1,5:1. Largo de 3-5 cm y ancho de 2-4 cm. Margen levemente dentado. Ápice de ángulo obtuso y forma incierta, se infiere redondeada. Base de ángulo agudo y forma incierta, se infiere recta. Venación secundaria recta, curvándose muy ligeramente hacia el ápice. Si bien, el margen a simple vista pareciera ser entero, las venas secundarias al llegar al borde forman un diente pequeño. Espaciamiento normal de ~5 mm. Nace en disposición opuesta a sub-opuesta con un ángulo de 70° con respecto a la nervadura principal.

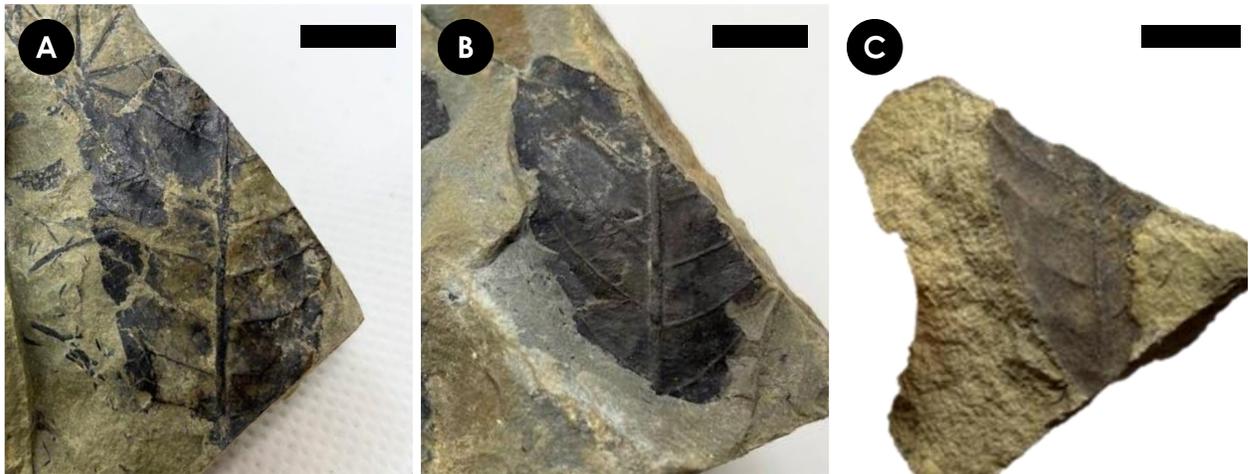


Figura 19: Orden Malvales. (A) Fósil de *Bombax* sp. (B) Fósil de *Bombax* sp. en el lado contrario de la misma roca de la imagen anterior. (C) Fragmento fósil de *Bombax* sp. **Barra = 1 cm.**

Género *Sterculia* Linnaeus, 1753

Sterculia acuminataloba Berry, 1937

Material estudiado: MURAY.PB.202 (Fig. 20 – A, B, C, D); 203; 204; 205; 206; 207; 208 y 209.

Descripción: Hoja entera palmada lobulada. Forma ovada a elíptica. Tamaño de lámina *notophyll*. Relación L:W de ~1:1. Largo de ~5 cm y ancho de por lo menos 5 cm. Lóbulos de máximo 3 cm de largo y ~1,2 cm de ancho. Margen entero. Ápice de lámina posee ángulo obtuso. Ápice de lóbulos de ángulo agudo y forma recta. Base de ángulo *reflex* ($> 180^\circ$) y forma lobada. Venación primaria palmada actinódroma basal. Venación secundaria inconsistente, la cual nace en disposición opuesta a alterna con ángulo variable con respecto a la nervadura principal, llegando a una vena intramarginal con ángulo recto. Espaciamiento irregular, generalmente de ~5 mm. Venación terciaria reticulada aleatoria.

La muestra MURAY.PB.202 posee todas las características descritas para *Sterculia acuminataloba*, sin embargo, posee 7 lóbulos. Las muestras MURAY.PB.203 y 206 poseen 5 lóbulos; mientras que MURAY.PB.204; 205; 207 y 208 poseen 3 lóbulos. Se infiere que estas últimas corresponden a etapas juveniles de la hoja.

Género *Sterculia* Linnaeus, 1753

cf. *Sterculia* sp.

Material estudiado: MURAY.PB.165(Fig. 20 – E); 211 (Fig. 20 – F); y 212.

Descripción: Fragmentos de hoja palmada lobulada, mayoritariamente bases. Tamaño de lámina desconocido, probablemente *notophyll*. Relación L:W desconocida. Forma de hoja y ápice desconocidas. Base de ángulo *reflex* y forma cordada. Venación primaria palmada. Venación secundaria incierta. Por lo general, poseen entre 5 y 7 venas basales, por ende, entre 3 y 5 lóbulos.



Figura 20: Orden Malvales. (A-D) Fósil más completo de *Sterculia acuminataloba* encontrado en la formación. (A) Parte derecha del fósil. (B) Detalle de base y venación primaria. (C) Detalle de lóbulo y venación secundaria. (D) Parte izquierda del fósil, se logran observar las rocas que conforman el ejemplar más completo. (E-F) Bases de *Sterculia* sp. Barra = 1 cm.

5.3.1.7. Orden **MYRTALES** Jussieu ex Berchtold y Presl, 1820:

Familia **MYRTACEAE** Jussieu, 1789

Género *Eucalyptus* L'Héritier, 1788

Eucalyptus sp.

Material estudiado: MURAY.PB.065B; 076C; 175; 176A; 177A; 178; 179; 180; 181A (Fig. 21 – A); 182 y 199A.

Descripción: Hoja entera pinnada simétrica. Forma elíptica, en ocasiones falcada. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W de 6:1. Largo y ancho variable, en promedio poseen ~6 cm de largo y ~1 cm de ancho. Margen entero. Ápice de ángulo agudo y forma incierta, sin embargo, se infiere recta. Base de ángulo agudo y forma recta-cuneada. Venación primaria robusta. Venación secundaria fina camptódroma dispuesta de forma opuesta. Espaciamiento denso. Presencia de vena perimarginal intramarginal.

Berry (1925; 1935) y Hünicken (1967) describen hojas que poseen misma forma de lámina, forma de ápice, base y patrón de venación, las cuales asignaron a *Myrcia chubutensis*. Posteriormente, González (2009) indica que dichos especímenes deben ser reasignados al género *Eucalyptus*. Sin embargo, el material disponible posee mala preservación y los dibujos de Berry sugieren también una pobre preservación de la venación, por lo que González decidió no transferir el material de *M. chubutensis* a *Eucalyptus* aún.

Género *Myrcia* De Candolle, 1827

Myrcia nitens Engelhardt, 1891

Material estudiado: MURAY.PB.194 (Fig.21 – B) y CAS22-124.

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma elíptica. Tamaño de lámina *nanophyll* a ligeramente *microphyll*. Relación L:W de 2:1. Largo de ~3 cm y ancho de ~1,5 cm. Margen entero. Ápice y base de ángulos agudos y formas rectas. Venación secundaria camptódroma dispuesta de forma alterna a sub-opuesta. Espaciamiento de ~5 mm. Nace con un ángulo de 55-65° con respecto a la nervadura principal, tiende a curvarse levemente hacia el ápice. Visualmente se asemeja bastante

a *M. reticulato-venosa*, sin embargo, esta última es más delgada y larga (3:1) que *M. nitens* (2:1). Además, la venación secundaria de *M. nitens* es más marcada.

Género *Myrcia* De Candolle, 1827

Myrcia reticulato-venosa Engelhardt, 1891

Material estudiado: MURAY.PB.167 (Fig. 21 – C); 168 (Fig. 21 – D); 169; 170; 171A; 172; 173; 174; 191; 192; 193; 194; 197; 201 y 236A.

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma ovada-elíptica. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W de 3:1. Largo de 6 cm y ancho de 1,8 cm. Margen entero. Ángulos agudos y formas rectas, tanto de ápice como para base. Venación secundaria difusa. Espaciamiento normal cada ~4 mm. Nace recta hacia el margen, en disposición opuesta a sub-opuesta con ángulo de ~50° con respecto a la nervadura principal. Desde la muestra MURAY.PB.167 hasta 171A poseen tamaño *microphyll*, con base y ápice rectos, mientras que desde la muestra MURAY.PB.172 hasta la 236A poseen tamaño más cercano a *notophyll*, con base y ápice rectos a levemente acuminados. Debido a que las características distintivas se mantienen, han sido agrupadas bajo la misma especie.

Género *Callistemon* Brown, 1814

? *Callistemon* sp.

Material estudiado: MURAY.PB.230; 231 (Fig. 21 – E); 232; 233; 234; 235; 236A (Fig. 21 – F).

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma obovada-oblancoada en etapa juvenil, oblanceolada en etapa adulta. Tamaño de lámina *nano-microphyll*. Relación L:W entre 3:1 y 5:1 en muestras estudiadas. Largo de por lo menos 5 cm y ancho de ~1,5 cm. Margen entero. Ápice de ángulo agudo y forma recta (Fig. 21 – E), sin embargo, algunos ejemplares presentan un ángulo de ápice obtuso y forma redondeada (Fig. 21 – F). Base de ángulo agudo y forma decurrente. Venación secundaria aparentemente camptódroma. Espaciamiento normal. Nace en disposición opuesta a sub-opuesta con ángulo de ~30° con respecto a la nervadura principal prominente.



Figura 21: Orden Myrtales. (A) *Eucalyptus* sp. (B) *Myrcia nitens* con venación secundaria marcada. (C y D) *Myrcia reticulato-venosa*. (E-F) *?Callistemon* sp. con sus respectivas flechas indicando el ápice. (E) Ejemplar con ápice recto y forma obovada. (F) Ejemplar con ápice redondeado y forma oblanceolada. (G) Género *Callistemon* en la actualidad, donde se logra observar la coexistencia de los dos diferentes ápices en la misma planta; flecha celeste indica ápice recto y flecha amarilla indica ápice redondeado. Barra = 1 cm.

5.3.1.8. Orden **SAPINDALES** Jussieu ex Berchtold y Presl, 1820:

Familia **SAPINDACEAE** Jussieu, 1789

Género *Cupania* Linneaus, 1753

Cupania latifolioides Berry, 1925

Material estudiado: MURAY.PB.183; 184; 185; 186; 187; 188 (Fig. 22 – A); 189 y 190.

Descripción: Fragmento de hoja entera pinnada. Forma incierta, se infiere lanceolada (ovada alargada). Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W desconocida. Largo mayor a 4 cm y ancho de ~2 cm. Margen serrado. Ápice de ángulo agudo y forma acuminada. Base y forma de base desconocidas. Venación secundaria craspedódroma de espaciamiento regular. Venas nacen rectas en disposición opuestas a subalternas con ángulo de ~55° con respecto a la nervadura principal, curvándose levemente hacia el ápice terminando en dientes marginales. Textura coriácea.

Género *Cupania* Linneaus, 1753

Cupania grosse-serrata Engelhardt, 1891

Material estudiado: MURAY.PB.159 (Fig. 22 – B); 160 (Fig.22 – C); 161A y 219.

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma lanceolada (ovada alargada). Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W de ~2:1. Largo de ~4 cm. Ancho de 1,5 a 2 cm. Margen dentado, con dientes ligeramente suavizados. Ápice de ángulo incierto, sin embargo, se infiere agudo. Forma de ápice desconocida. Base de ángulo obtuso y forma incierta, se infiere cuneada. Venación secundaria craspedódroma. Espaciamiento regular de 5 mm. Nace en disposición opuesta a sub-opuesta con ángulo de ~45° con respecto a la nervadura principal.

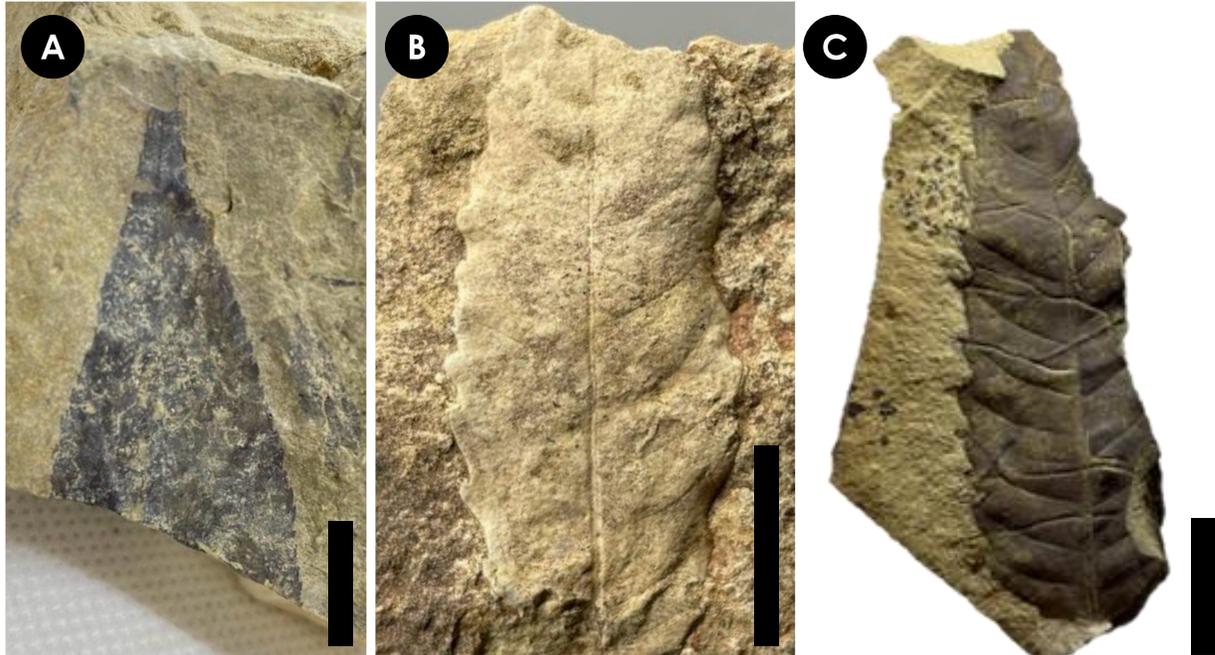


Figura 22: Orden Sapindales. (A) Fragmento de *Cupania latifolioides*. (B-C) *Cupania grosse-serrata*. Barra = 1 cm.

5.3.1.9. Orden **DILLENIALES** De Candolle ex Berchtold y Presl, 1820:

Familia **DILLENiaceae** Salisbury, 1807

Material estudiado: MURAY.PB.220; 221; 222; 223; 224; 225; 226; 227 y 228.

MORFOTIPO 1: MURAY.PB.220 (Fig. 23 – A).

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma desconocida. Tamaño de lámina *notophyll*. Relación L:W desconocida. Largo mayor a 5 cm, posiblemente ~10 cm y ancho de ~5 cm (inferido). Margen sutilmente serrado. Ápice de ángulo obtuso y forma recta. Base de ángulo y forma desconocidas. Venación secundaria craspedódroma, nace en disposición alterna a sub-opuesta y en ocasiones opuesta, con un ángulo de ~60° con respecto a la nervadura principal prominente, haciéndose mayor en el ápice. Se curva hacia el ápice antes de llegar al margen y en ocasiones se dicotomiza. Espaciamiento denso e irregular. La muestra posee marcas de herbivoría. La diagnosis es similar a la descripción del fósil *Dillenites ellipticus ulmifolius* Hollick, sin embargo, se diferencia con que este género posee una venación secundaria que nace con un ángulo agudo de 40-50° con respecto a la nervadura principal, haciéndose aún más agudo hacia el ápice, a diferencia de nuestro ejemplar donde ocurre lo contrario. Con respecto a los géneros en la actualidad, el ejemplar posee similitudes

con *Davilla kunthii*, *Dillenia* sp., *Couma macrocarpa* y *Ochrosia oppositifolia*, sin embargo, los dos primeros géneros poseen una venación secundaria totalmente recta que nace con ángulos más agudos con respecto a la nervadura principal. Mientras que los dos últimos no poseen dientes en el margen como nuestro ejemplar.

MORFOTIPO 2: MURAY.PB. 221 (Fig. 23 – B).

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma oblonga-elíptica. Tamaño de lámina *notophyll*. Relación L:W de 2:1. Largo de ~10 cm y ancho de 4,8 cm. Margen suavemente dentado. Ápice de ángulo y forma desconocidas. Base de ángulo agudo y forma cuneada (recta). Venación secundaria craspedódroma. Nace en disposición desconocida con un ángulo que varía entre 60° y 50° con respecto a la vena principal, en la base y cerca del ápice respectivamente. Espaciamiento regular cada 5 mm. Venación terciaria percurrente sinuosa. La diagnosis coincide en la mayoría de los caracteres con la especie actual *Tetracera scandens*, distribuida en los sectores tropicales y templados del continente asiático. Se diferencian principalmente en la relación L:W y cantidad de venas secundarias, en donde nuestro ejemplar posee un largo y cantidad de venas mayor.

MORFOTIPO 3: MURAY.PB. 228 (Fig. 23 – C).

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma incierta, se infiere obovada-oblanceolada. Tamaño de lámina incierto, se infiere *microphyll*. Relación L:W desconocida. Largo mayor a 5,5 cm y ancho de por lo menos 2,8 cm. Margen de lámina completa incierto, sin embargo, en la base es entero, posiblemente dentado distalmente. Ápice de ángulo y forma desconocidas. Base de ángulo obtuso y forma cóncava. Venación secundaria craspedódroma, sin embargo, a medio camino entre la nervadura principal y el margen sufre un quiebre hacia el ápice, en ocasiones dicho quiebre origina una dicotomización, ocasionando que esas pocas venas sean camptódromas. Espaciamiento irregular. En la base nace con un ángulo de 60-65° con respecto a la nervadura principal. Venación terciaria no apreciada. Debido a la falta de caracteres resulta complejo una asignación taxonómica a nivel de género, sin embargo, las características son favorables para posicionar este morfotipo en la familia Dilleniaceae. No se descarta la posibilidad de que estos fragmentos correspondan a bases de los ejemplares catalogados como Morfotipo 4.

MORFOTIPO 4: MURAY.PB.222 (Fig. 23 – D).

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma obovada-oblancoada. Tamaño de lámina *notophyll*. Relación L:W incierta, se infiere una de 2:1. Largo de por lo menos ~10 cm y ancho inferido de ~6 cm. Margen suavemente dentado. Ángulo y base, tanto de ápice como de base, desconocidos. Venación secundaria craspedódroma, la cual nace en disposición alterna a sub-alterna con un ángulo de 55-65° con respecto a la nervadura principal. Espaciado irregular cuya dimensión disminuye hacia el ápice, desde 11 a 5 mm. Venación terciaria percurrente sinuosa a reticulada. La diagnosis coincide ampliamente con la descripción de la especie actual *Acrotrema arnottianum* Wight distribuida actualmente en India.

MORFOTIPO 5: MURAY.PB.226 y 227 (Fig. 23 – E).

Descripción: Similares visualmente a las de Morfotipo 2, pero de menor tamaño. Hoja entera pinnada. Forma elíptica. Tamaño de lámina *microphyll*. Relación L:W de 2:1. Largo de ~6 cm y ancho de 2,8 cm. Margen incierto; se aprecian dientes y ciertas ondulaciones, sin embargo, estas últimas podrían deberse a un efecto tafonómico. Ápice de ángulo agudo y forma incierta, se infiere recta. Base de ángulo agudo y forma incierta, se infiere cuneada. Venación secundaria craspedódroma, prominente cerca de la nervadura principal. Nace en disposición opuesta a sub-opuesta con un ángulo de 60° con respecto a la nervadura principal. Espaciamiento regular de 4 mm. Venación terciaria percurrente sinuosa. La diagnosis coincide en gran parte con la descripción de la especie *Dillenia indica*, distribuida ampliamente por el sur de Asia, Norteamérica y Sudamérica, en regiones tropicales y subtropicales.

MORFOTIPO 6: MURAY.PB. 223 (Fig. 23 – F); 224 y 225.

Descripción: Hoja entera pinnada. Forma elíptica. Tamaño de lámina *notophyll*. Relación L:W de 2:1. Largo de ~9 cm y ancho de ~6 cm. Margen sutilmente dentado. Ápice de ángulo y forma desconocidas. Base de ángulo agudo y forma incierta, se infiere cuneada. Venación secundaria craspedódroma. Nace en disposición opuesta a sub-opuesta con un ángulo de 70-80° con respecto a la nervadura principal. Espaciamiento irregular que va desde 7 a 12 mm. Venación terciaria percurrente combinada: recta, sinuosa, convexa y chevrón. Posee ciertas similitudes con la especie fósil *Hicoria magnifica* Knowlton, sin embargo, la diagnosis coincide en más aspectos con el género actual *Davilla rugosa* Poir, nativa en toda Sudamérica exceptuando Chile y Argentina.

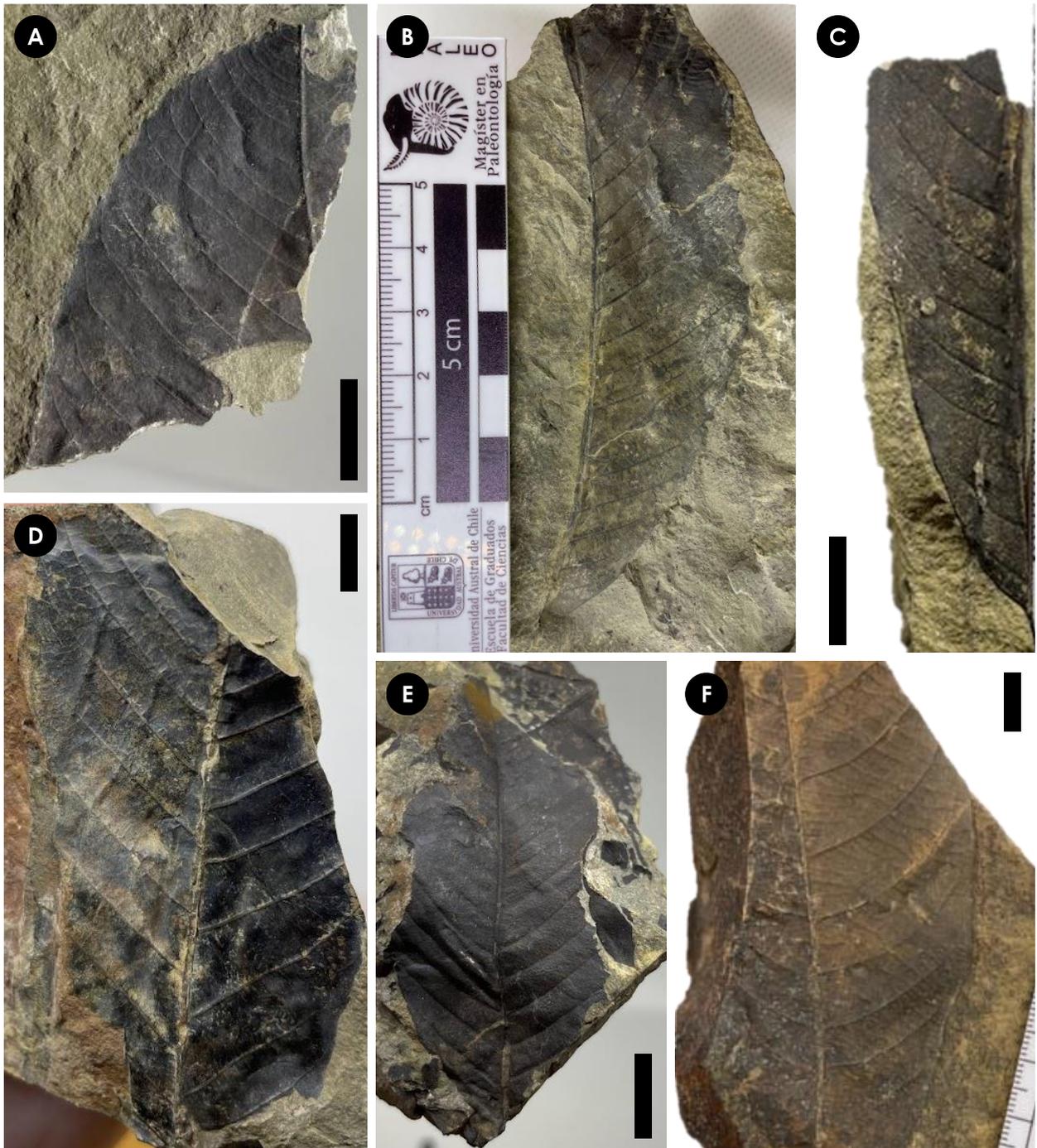


Figura 23: Orden Dilleniales. (A) Morfotipo 1, fragmento distal. (B) Morfotipo 2, posee similitudes a la especie *Tetracera scandens*. (C) Morfotipo 3, fragmento proximal. (D) Morfotipo 4, cuya diagnosis coincide con *Acrotrema arnottianum*. (E) Morfotipo 5, cuya diagnosis es bastante similar a *Dillenia indica*. (F) Morfotipo 6, cuya diagnosis es bastante similar a *Davilla rugosa*. **Barra = 1 cm.**

5.3.2. Clase Liliopsida

5.3.2.1. Orden POALES Small, 1903:

Familia **TYPHACEAE** Jussieu, 1789

Género *Typha* Linneaus, 1753

cf. *Typha* sp.

Material estudiado: MURAY.PB.062B; 068B; 072B; 074B; 076B; 079B, 080B; 082B; 083B; 084B (Fig. 24 – C); 089B; 090B; 093B; 097C; 098C; 105C; 107B; 108B (Fig. 24 – G); 111B; 114B; 115B; 121B; 128B; 130B; 131B; 145A; 146; 147 (Fig. 24 – F); 148; 149A; 150; 151; 152 (Fig. 24 – A); 153 (Fig. 24 – B y D); 154; 155; 156 (Fig. 24 – E); 157; 158; 161B; 162B; 173C; 176B; 199B y 236B.

Descripción: Hojas simples de forma linear con márgenes enteros y paralelos. Lámina de al menos 10 cm de largo y un ancho que varía entre 0,7 cm (Fig. 24 – A) a ~3 cm (Fig. 24 – C), siendo 1,5 cm el ancho promedio. En general, poseen entre 13 a 15 venas que se extienden longitudinalmente a través de la lámina, dispuestas paralelas entre sí y espaciadas regularmente a 1 mm. Entre las venas principales es posible observar algunas venas más estrechas, también dispuestas de forma paralela. Además, algunos ejemplares poseen venas transversales que interconectan a las venas longitudinales, formando un tramado enrejado (Fig. 24 – E y F)

Los ejemplares estudiados poseen características similares a las especies *Typha subulata*, la cual es nativa de Argentina y Uruguay (Crespo y Pérez-Moreau, 1967) y *Typha latifolia*. Sin embargo, al comparar descripciones, sería más acertado clasificar los presentes ejemplares dentro de esta última.

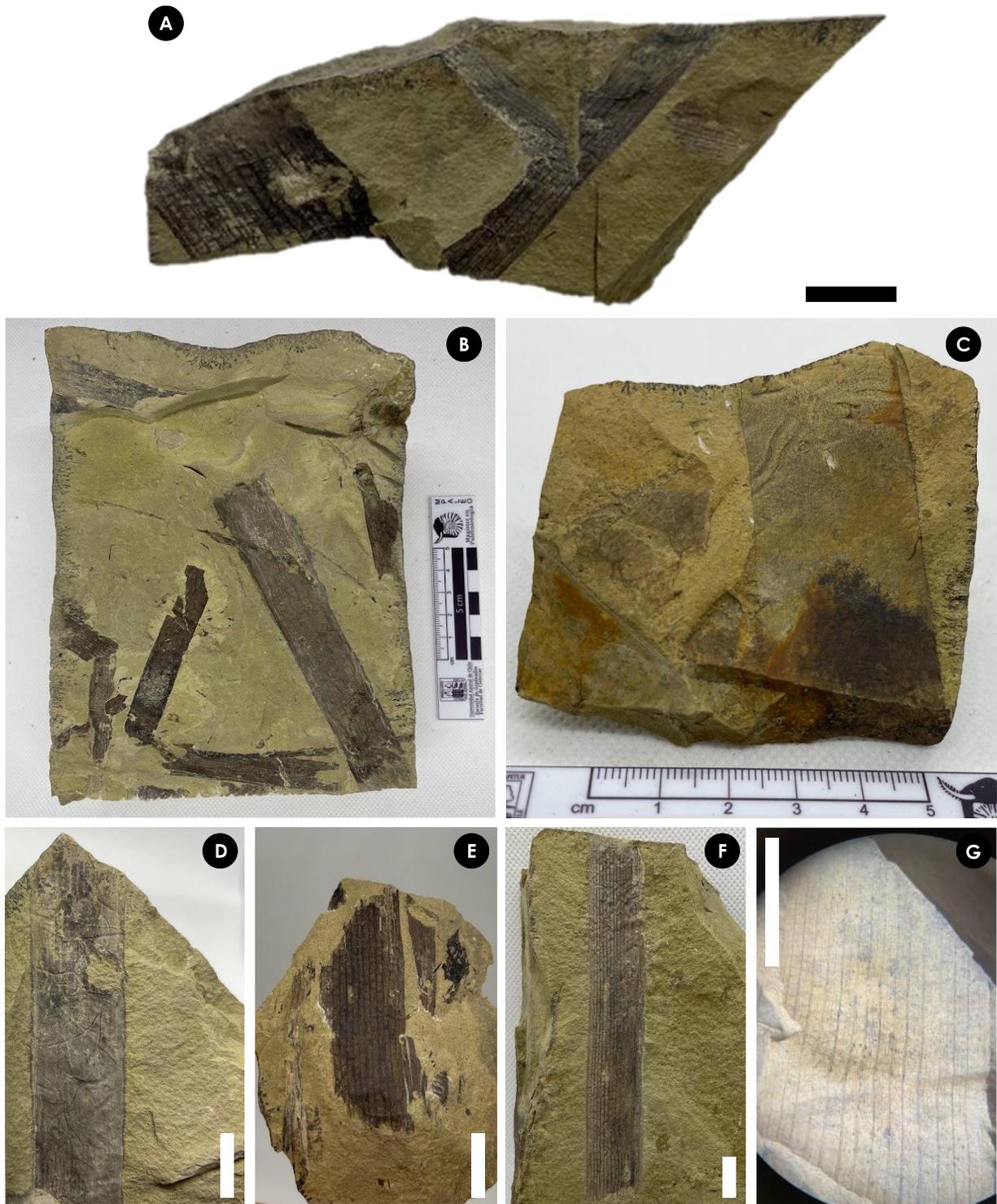


Figura 24: Orden Poales. (A-C) Rocas con impresiones de cf. *Typha* sp. de distintos grosores. (D-F) Acercamiento a ejemplares de *Typha* sp. en donde se logra apreciar su venación. (E) Detalle de su venación tipo enrejada, con venas longitudinales y menores ortogonales. (G) Detalle bajo lupa de la venación longitudinal con sus venillas paralelas más delgadas. **Barra = 1 cm.**

6. DISCUSIÓN

6.1. RELACIONES PALEOFLORÍSTICAS

El análisis comparativo (Tabla 3) comenzó con el trabajo de Berry (1938) sobre la “Flora Terciaria del Río Pichileufú, Argentina”. Se revisó también la flora de la Formación Río Leona (Césari y otros, 2015), correlacionada con la Formación San José por De la Cruz y Suárez (2006). Además, se consideraron las floras eocenas de Laguna del Hunco (Wilf y otros, 2005), Formación Río Guillermo (Panti, 2011) y Formación Río Turbio (Vento y Prámparo, 2018). Cabe destacar que se investigó sobre la flora de las formaciones Río Lista y Casamayor, ambas correlacionadas con Formación San José por De la Cruz y otros (2004) y De la Cruz y Suárez (2006), sin encontrar la información necesaria sobre la paleoflora para elaborar la tabla comparativa.

TABLA 3: Cuadro comparativo de paleofloras. Entre flora cenozoica de Pichileufú, formaciones del Eoceno-Oligoceno y el presente estudio. Familias presentes en la zona de estudio destacadas en negra.

	Flora cenozoica del Río Pichileufú (Berry, 1938)	Flora de Laguna del Hunco (Wilf y otros, 2005)	Formación Río Leona (Cesari y otros, 2015)	Formación Río Guillermo (Panti, 2011)	Formación Río Turbio (Vento y Prámparo, 2018)	Formación San José (De la Cruz y Suárez, 2006)	Formación San José PRESENTE ESTUDIO
ANACARDIACEAE	X	-	X	X	X	X	-
ANNONACEAE	X	-	-	-	X	-	-
APOCYNACEAE	X	-	-	-	-	-	X
ARALIACEAE	X	-	-	-	-	-	X
ASPLENIACEAE	X	-	-	-	-	-	-
BERBERIDACEAE	X	-	-	-	-	-	-
BIGNONIACEAE	X	-	-	-	X	-	-
BLECHNACEAE	-	-	X	-	-	-	-
BUXACEAE	X	-	-	-	-	-	-
CANNABACEAE	X	X	-	-	-	-	-
CELASTRACEAE	X	-	-	-	-	-	-
CUNONIACEAE	X	-	-	-	-	-	-
DILLENIACEAE	X	X	-	-	X	-	X
EQUISETACEAE	-	-	-	-	-	-	X
ERYTHROXYLACEAE	X	-	-	-	-	-	-
ESCALLONIACEAE	-	-	-	-	X	-	-
EUPHORBIACEAE	X	-	-	-	-	-	-

FABACEAE	X	X	X	-	-	X	-
FAGACEAE	-	-	-	X	-	-	X
HYDRANGEACEAE	X	-	-	-	-	-	-
ICACINACEAE	X	-	-	-	-	-	-
LAURACEAE	X	X	X	X	X	X	X
MALPIGHIACEAE	X	-	-	-	-	X	-
MALVACEAE	X	X	-	-	X	X	X
MELIACEAE	X	-	-	-	-	-	-
MORACEAE	X	-	-	-	-	X	-
MYRICACEAE	X	X	-	-	X	-	-
MYRISTICACEAE	X	-	-	-	-	-	X
MYRTACEAE	X	X	X	X	X	X	X
NOTHOFAGACEAE	-	-	X	X	X	X	X
NYCTAGINACEAE	X	-	-	-	-	-	-
OCHNACEAE	X	-	-	-	-	-	-
OLEACEAE	-	-	-	-	-	X	-
POACEAE	X	-	-	-	-	-	-
POLYGONACEAE	X	-	-	-	-	-	-
PROTEACEAE	X	X	X	-	-	X	-
RHAMNACEAE	-	X	-	-	X	X	-
ROSACEAE	X	-	X	X	-	-	-
RUBIACEAE	X	X	-	-	-	-	X
RUTACEAE	X	-	-	-	-	-	X
SALICACEAE	X	-	-	X	X	-	-
SAPINDACEAE	X	X	-	-	X	-	X
SAPOTACEAE	X	-	-	-	X	X	-
STYRACACEAE	X	-	-	-	X	-	-
THELYPTERIDACEAE	X	-	-	-	-	X	X
TYPHACEAE	-	-	X	X	-	-	X
ULMACEAE	-	-	-	-	X	-	-
URTICACEAE	-	-	-	-	X	-	-
VITACEAE	X	-	-	-	X	-	-
VOCHYSIACEAE	-	-	-	-	X	-	-
WINTERACEAE	X	-	-	-	X	-	-

Tabla 3 – Continuación: Cuadro comparativo de paleofloras. Entre flora cenozoica de Pichileufú, formaciones del Eoceno-Oligoceno y el presente estudio. Familias presentes en la zona de estudio destacadas en negrita.

Como se logra apreciar en la tabla, de las 15 familias identificadas en este trabajo, sólo 5 coinciden con el listado elaborado por Troncoso (2003, comunicación escrita en De la Cruz y Suárez, 2006), las cuales corresponden a las familias Lauraceae, Malvaceae, Myrtaceae, Nothofagaceae y Thelypteridaceae.

Dentro del grupo de paleofloras destacan las familias Lauraceae y Myrtaceae, las cuales se encuentran ampliamente distribuidas en todas las formaciones y localidades comparadas. Sin embargo, debido a que el presente trabajo contempló las improntas foliares más completas, es posible que en material que aún no ha sido estudiado se tenga registro de otras familias que no están contempladas en la tabla, como por ejemplo, las familias Anacardiaceae, Fabaceae y Proteaceae, las cuales sí están presentes en las otras localidades y formaciones comparadas. Finalmente, llama la atención que la familia Equisetaceae no esté identificada en ninguna otra localidad o formación del grupo.

6.2. AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN

La paleoflora presente en la zona de estudio, al ser comparada con especímenes actuales, nos facilita información con respecto al ambiente de sedimentación, por ejemplo, cuando las hojas de los helechos se desprenden de la planta madre, estas se secan, encogen y arrugan rápidamente, sin embargo, cuando entran en contacto con el agua estas vuelven a su tamaño y forma original (Cieraad, 2003). Esto permite confirmar que los helechos fósiles recolectados fueron depositados en un ambiente en donde la presencia de agua era fundamental, tales como pantanos o llanuras de inundación.

Los equisetos poseen un hábitat marcadamente higrófilo (Looser, 1961), es decir, crece en lugares húmedos, cerca de los arroyos y vertientes, especialmente donde abunda el agua (Rodríguez y otros, 2009). El género *Typha* habita en pantanos, estanques, márgenes de lagos, estuarios, praderas húmedas, entre otros (Urrutia y otros, 2017).

En cuanto a las angiospermas magnoliopsidas, las especies de la familia Myrtaceae están siempre asociadas a ambientes de humedad, ya sea edáfica o atmosférica (Troncoso y Encinas, 2006).

6.3. IMPLICANCIAS PALEOCLIMÁTICAS

En general, los helechos se encuentran relativamente libres de herbivoría (Guo y otros, 2003), no dependen de polinizadores y tienen muy pocos dispersores de esporas. Esto hace que la distribución de los helechos refleje el clima y otros factores abióticos (Cieraad, 2003). De manera particular, la distribución actual de las Thelypteridaceae es principalmente tropical y subtropical, pero existen también representantes de climas templados (Machado, 2019).

En la actualidad, por debajo de los 37°S, tanto en Chile como en Argentina, el género *Nothofagus* se encuentra en dos grandes tipos de bosques: bosques tropicales a templados en sitios climáticamente favorables y bosques puros o casi puros de *Nothofagus* en sitios menos favorables denominados bosques patagónicos o subantárticos (Veblen y otros, 1996). Por un lado, en todo el rango geográfico sudamericano de *Nothofagus*, las temperaturas medias anuales son inferiores a 15° C, llegando en el extremo sur a 6° C (Troncoso y Encinas, 2006). El intervalo Eoceno medio-Oligoceno temprano se caracterizó por la invasión de bosques de *Nothofagus* en la Patagonia, en estrecha concordancia con una marcada tendencia al enfriamiento (Barreda y Palazzesi, 2007). La presencia del género *Myrcia* (Myrtaceae) indica una alta similitud con el tipo de bosque paleoflorístico subantártico (Vento, 2017).

Por otro lado, en la flora colectada se tienen especies que en la actualidad existen en ambientes cálidos y húmedos a perhúmedos como las pertenecientes al género *Ocotea*. En América del Sur se encuentran en bosques y selvas húmedas a pluviales, con precipitaciones anuales de hasta más de 2.000 mm (Troncoso y Encinas, 2006). También, el género *Cinnamomum* posee una distribución mundial en áreas tropicales y subtropicales, incluida América del Sur (Wuu-Kuang, 2011).

Y aunque las floras del Eoceno de Argentina indican bosques subtropicales a completamente tropicales, algunos taxones sugieren sequía estacional. A partir del Eoceno medio y continuando hasta el Oligoceno, las disminuciones en el porcentaje de especies con hojas de márgenes enteros y en especies con hojas grandes implican climas más fríos y/o más estacionales en el sur de Sudamérica (Romero, 1986).

7. CONCLUSIONES

- La Formación San José posee una arquitectura fluvial compuesta por llanuras de inundación, macroformas de acreción lateral y canales. Las múltiples bases erosivas y rellenos de canal observados en Columna Oeste (Vidal, 2024) en conjunto a la cantidad y diversidad paleobotánica estudiada en el presente trabajo, permiten indicar un ambiente fluvial de río anastomosado, en donde las barras suelen estar colonizadas por vegetación.
- La presencia de la liliopsida *Typha* (orden Poales), *Equisetum* (orden Equisetales) y la preservación de los helechos (orden Filicopsida) permite confirmar que los ejemplares recolectados fueron depositados en un ambiente en donde el agua fuese fundamental. Mientras que la gran cantidad de *Typha* observada en terreno permite inferir el desarrollo de un denso dominio, los cuales crecen en suelos inundados o encharcados la mayor parte del año, como por ejemplo, las barras de ríos con cauces estables (anastomosados).
- Se confirma la presencia de *Goniopteris patagoniana* (morfotipo 5) y se reportan dos nuevas especies de helechos para la Formación San José: *Thelypteris grandis* var. *kunzeana* (*Cyclosorus* s.l.), a raíz de la dimensión y cantidad de venas por segmentos (morfotipo 3) y *Cyclosorus interruptus*, basándose en la vena excurrente formada por la unión de las venas basales de los segmentos (morfotipo 2 y 4). Finalmente, los morfotipos 1 y 6 son atribuidos a *Cyclosorus* s.s.
- Las familias Dilleniaceae y Myrtaceae poseen una distribución tropical-subtropical, mientras que *Nothofagus* una austral-antártica, *Ocotea* una pantropical y *Callistemon* una australasiana. Esto indica que el ensamble de la Formación San José correspondería a una paleoflora mixta.
- El ensamble paleoflorístico proviene de diferentes hábitats (acuático, palustre y boscoso), donde los registros fueron depositados al mismo tiempo en el mismo lugar, lo que indica una mixtura tafonómica.

8. REFERENCIAS

- ADRIASOLA, A.; THOMSON, S.; BRIX, M.; HERVÉ, F. y STÖCKHERT, B. 2005. Postmagmatic cooling and Late Cenozoic denudation of the north Patagonian Batholith in the Los Lagos Region of Chile, 41°-42°15'S. *International Journal of Earth Sciences*. Vol. **95**: 504-528.
- AGURTO-DETZEL, H.; RIETBROCK, A.; BATAILLE, K.; MILLER, M.; IWAMORI, H. Y PRIESTLEY, K. 2014. Seismicity distribution in the vicinity of the Chile Triple Junction, Aysén Region, southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*. N°51: 1-11.
- AUBLET, F. 1775. *Histoire des Plantes de la Guiane Française*. P. F. Didot Jeune, Paris, 781 pp.
- AUGUSTSSON, C. y BAHLBURG, H. 2003. Cathodoluminescence spectra of detrital quartz as provenance indicators for Paleozoic metasediments in southern Andean Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 15–26.
- BAKER, P.E.; REA, W.J.; SKARMETA, J.; CAMINOS, R. y REX, D.C. 1981. Igneous history of the Andean cordillera and Patagonian plateau around latitude 46°S. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Vol. **303**: 105-149. Londres.
- BELL, C. y SUÁREZ, M. 2000. The Rio Lácteo Formation of Southern Chile. Late Paleozoic orogeny in the Andes of southernmost South America. *Journal South American Earth Sciences*. Vol. **13**: 133-145.
- BERCHTOLD, B. W., PRESL, J. S. 1820: O přirozenosti rostlin, aneb, Rostlinář [About the nature of plants, or Planter]. K. W. Enders, Praha, 322 pp. (in Czech)
- BERRY, E.W. 1925. A Miocene flora from Patagonia: *Johns Hopkins University Studies in Geology* 6: 183–251.
- BERRY, E.W. 1937. A Paleocene flora from Patagonia. *Johns Hopkins University Studies in Geology*, 12:33-50.
- BERRY, E. W. 1938. Tertiary flora from the rio Pichileufu, Argentina. *Geological Society of America*. Vol. **12**.
- BLUME, C.L. 1851. *Museum Botanicum Lugduno-Batavum sive stirpium Exoticarum, Novarum vel Minus Cognitarum ex Vivis aut Siccis Brevis Expositio et Descriptio* 1: 307.
- BOETSCH, M. 2014. Control estructural de la mineralización Argento-Aurífera y criterios de exploración en el distrito Cerro Bayo, Región de Aysén, Chile. Tesis de pregrado, Universidad de Chile, 26-28.
- BÖRGEL, R. 1983. *Geomorfología*. Santiago, Chile: Instituto Geográfico Militar
- BOSTELMANN, E. y BULDRINI, K. 2012. Late-Early Miocene fossil mammals of the Pampa Guadal Area, Meseta Cosmelli, Aysén Region, Chilean Patagonia. Abriendo ventanas al pasado, Punta Arenas. Simposio de Paleontología en Chile N° 3, Resúmenes 3 (Leppe, M., Aravena, J.C., Villa-Martínez, R. editores). Instituto Antártico Chileno-Centro de Estudios del Cuaternario y Antártica Punta Arenas: 38-41. Punta Arenas.

- BOUREAU, E. 1964. *Traite de Paleobotanique*, Tome III, Sphenophyta, Noeggerathiophyta. Masson et Cie, Paris, 544 p
- BROWN, R., y FLINDERS, M. 1814. A Voyage to Terra Australis: Undertaken for the Purpose of Completing the Discovery of that Vast Country, and Prosecuted in the Years 1801, 1802 and 1803, in His Majesty's Ship The Investigator, and Subsequently in the Armed Vessel Porpoise and Cumberland Schooner, with an Account of the Shipwreck of the Porpoise, Arrival of the Cumberland at Mauritius, and Imprisonment of the Commander During Six Years and a Half in that Island. G. & W. Nicol.
- BRUCE, R. M.; NELSON, E. P.; WEAVER, S. G. y LUX, D.R. 1991. Temporal and spatial variation in the southern Patagonian batholith. Constraints on magmatic arc development. *Geological Society of America Special Papers*. Vol. **265**: 1-12.
- CANDE, S. y LESLIE, R. 1986. Late Cenozoic tectonics of the Southern Chile Trench. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 91: 471-496.
- CANDE, S.; LESLIE, R.; PARRA, J. y HOBART, M. 1987. Interaction between the Chile Ridge and Chile Trench: geophysical and geothermal evidence. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 92: 495-520.
- CARRASCO, M. 2018. Estratigrafía y geocronología del Cenozoico de meseta Guadal y meseta Chile Chico entre los 46° 32' S-47° 08' S y los 71° 35' W-72° 50' W. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Chile.
- CEMBRANO, J.; HERVÉ, F. y LAVENU, A. 1996. The Liqueñe-Ofqui fault zone: a long-lived intra-arc fault zone in southern Chile. *Tectonophysics*. Vol. **259**: 55-66.
- CEMBRANO, J. y LARA, L. 2009. The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: a review. *Tectonophysics*. Vol. **471**(1-2): 96-113.
- CÉSARI, S. N., PANTI, C., PUJANA, R. R., FRANCIS, J. E., y MARENSSI, S. A. 2015. The late Oligocene flora from the Río Leona Formation, Argentinian Patagonia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 216, 143-158.
- CIERAAD, E. 2003. New Zealand Fossil Ferns.
- CHANNING, A.; ZAMUNER, A.; EDWARDS, D.; GUIDO, D. 2011. *Equisetum thermale* sp. nov. (Equisetales) from the Jurassic San Agustín hot spring deposit, Patagonia: anatomy, paleoecology, and inferred paleoecophysiology. *American Journal of Botany* 98: 680-697
- CHARRIER, R. y COVACEVICH, V. 1978. Paleogeografía del Jurásico Superior y Neocomiano en el sector austral de Los Andes meridionales chilenos (42-56° latitud sur). En *Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía No. 2 y Congreso Latinoamericano de Paleontología No. 1*. Vol. 5. p. 156-175. Buenos Aires.
- CHARRIER, R.; PINTO, L. y 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. Special Publication, pp. 21-116. London.
- CHING, R. C. 1940. On natural classification of the family "Polypodiaceae". *Sunyatsenia*, 5, 201.
- COLLINSON, M. E. 2001. Cainozoic ferns and their distribution. *Brittonia*, 53, 173-235.

- COUTAND, I., DIRAISON, M., COBBOLD, P., GAPAIS, D., ROSSELLO Y E. y MILLER, M. 1999. Structure and kinematics of a foothills transect, Lago Viedma, southern Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 12(1), 1-15.
- COVACEVICH, V.; DE LA CRUZ, R. y SUÁREZ, M. 1994. Primer hallazgo de fauna del Berriasiano Inferior (Neocomiano) en la Formación Ibáñez, Región XI, Aysén. In Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas 1: 425-429. Concepción.
- CREPET, W. L., y NIKLAS, K. J. 2009. Darwin's second "abominable mystery": Why are there so many angiosperm species?. *American journal of botany*, 96(1), 366-381.
- CRESPO, S. y PERÉZ-MOREAU, R. 1967. *Darwiniana* 14: 424, *Typha subulata*.
- CUITIÑO, J.; FERNICOLA, J.; KOHN, M.; TRAYLER, R.; NAIPAUER, M.; BARGO, M.; KAY, R. y VIZCAÍNO, S. 2016. U-Pb geochronology of the Santa Cruz Formation (early Miocene) at the Río Bote and Río Santa Cruz (southernmost Patagonia, Argentina): Implications for the correlation of fossil vertebrate localities. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 70: 198-210.
- D'ORAZIO, M., AGOSTINI, S., INNOCENTI, F., HALLER, M. J., MANETTI, P., Y MAZZARINI, F. 2001. Slab window-related magmatism from southernmost South America: The Late Miocene mafic volcanics from the Estancia Glencross Area (~ 52 S, Argentina–Chile). *Lithos* 57 (2-3), 67-89.
- DAHLGREN, R. M. T., CLIFFORD, H. T. y YEO, F. T. 1985. *The Families of the Monocotyledons* Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 193.
- DE CANDOLLE, P., 1827. *Dictionnaire Classique d'Histoire Naturelle*. Didot Jeune, Paris, 406 pp. (French)
- DE LA CRUZ, R. y CORTÉS, J. 2011. Geología del área oriental de la Hoja Puerto Cisnes. Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 127: 70 pp. 1 mapa escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.
- DE LA CRUZ, R.; SALGADO, L.; SUÁREZ, M.; GASPARINI, Z. y FERNÁNDEZ, M. 2005. Dinosaurs in central Patagonian Cordillera, Chile. In *International Gondwana Symposium*, No. 12. Póster. Mendoza.
- DE LA CRUZ, R., y SUÁREZ, M. 2006. Geología del área Puerto Guadal-Puerto Sánchez: Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 95, 58 p., 1 mapa escala 1:1.000.000.
- DE LA CRUZ, R. y SUÁREZ, M., 2008. Geología del Área de Chile Chico-Río de Las Nieves, Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo, escala 1:100.000. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica N°112. Servicio Nacional de Geología y Minería: 67 pp. Santiago.
- DE LA CRUZ, R.; SUÁREZ, M.; COVACEVICH, V. y QUIROZ, D. 1996. Estratigrafía de la zona de Palena y Futaleufú (43°15'–43°45' Latitude S), X Región, Chile. Congreso Geológico Argentino No. 13 y Congreso de Exploración de Hidrocarburos, No. 3. Actas 1: 417–424.

- DE LA CRUZ, R., SUÁREZ, M., MORATA, D., ESPINOZA, F., y TRONCOSO, A. 2003. El Cenozoico del Lago General Carrera, Aysén, Chile (46 30'-47 15'S): estratigrafía y tectónica. In Congreso Geológico Chileno (No. 10).
- DE LA CRUZ, R., WELKNER, D., SUÁREZ, M., y QUIROZ, D. 2004. Geología del área oriental de las hojas Cochrane y Villa O'Higgins. Región de Aisén del General Carlos Ibañez del Campo, escala, 1:250.000.
- DECAISNE, J., y PLANCHON, J. E. 1854. Esquisse d'une monographie des Araliacées. *Revue horticole*, 1854, 104-109.
- DUMORTIER, B. C. 1829. Analyse des familles des plantes: avec l'indication des principaux genres qui s'y rattachent. Casterman.
- DUSÉN P. 1899. Über die tertiäre Flora der Magallans-Länder (About the tertiary flora of Magallans). In: Nordenskjöld O, editor. *Wissenschaftliche Ergebnisse der Schwedischen Expedition nach den Megallansländer 1895–97*. Vol. I. Geologie, Geographie und Anthropologie. Estocolmo: Lithographisches Institut des Generalstabs; p. 87–108.
- ELGORRIAGA, A.; ESCAPA, I.H., BOMFLEUR, B.; Cúneo, R. y OTTONE, E.G. 2015. Reconstruction and phylogenetic significance of a new *Equisetum* Linnaeus species from the Lower Jurassic of Cerro Bayo (Chubut Province, Argentina). *Ameghiniana* 52: 135-152.
- ELLIS, B., DALY, D. C., HICKEY, L. J., JOHNSON, K. R., MITCHELL, J. D., WILF, P., y WING, S. L. 2009. *Manual of leaf architecture*.
- ENCINAS, A., FOLGUERA, A., RIFFO, R., MOLINA, P., PAZ, L. F., LITVAK, V. D., COLWYN, D. A., VALENCIA, V. A. y CARRASCO, M. 2018. Cenozoic basin evolution of the Central Patagonian Andes: Evidence from geochronology, stratigraphy, and geochemistry. *Geoscience Frontiers*, 10(3), 1139-1165.
- ENDRESS, M.E. y BRUYNS, P.V. 2000. A Revised Classification of the Apocynaceae s.l. *The Botanical Review*, 66, 1-56.
- ENGELHARDT, H. 1891. Über Tertiärpflanzen von Chile. *Senckenb. naturf. Gesell. Abh.*, Band 16, Heft 4, p. 629-692.
- ENGLER, A. 1892. *Syllabus der Pflanzenfamilien: eine Übersicht über das gesamte pflanzensystem mit Berücksichtigung der Medicinal-und Nutzpflanzen*. Gebrüder Borntraeger Verlag, Berlin 233 pp.
- FALASCHI, P.; ZAMUNER, A. y FOIX, N. 2009. Una nueva Equisetaceae fértil de la Formación La Matilde, Jurásico Medio, Argentina. *Ameghiniana* 46: 263-272.
- FAWCETT, S. 2020. *A Generic Classification of the Thelypteridaceae*. The University of Vermont and State Agricultural College.
- FLINT, S. S., PRIOR, D. J., AGAR, S. M., y TURNER, P. 1994. Stratigraphic and structural evolution of the Tertiary Cosmelli Basin and its relationship to the Chile triple junction. *Journal of the Geological Society*, 151(2), 251-268.
- FLYNN, J. y SWISHER, C. 1995. Cenozoic South America land mammal ages: correlation to global geochronologies. *Geochronologies, time scales, and global stratigraphic correlation*

- (Berggren, W.; Kent, D. y Hardenbol, J. editores). Society for Sedimentary Geology, Special Publication N°54: 317-333. Tulsa.
- FLYNN, J.; NOVACEK, M.; DODSON, H.; FRASSINETTI, D.; MCKENNA, M.; NORELL, M., SEARS, K.; SWISHER, C. y WYSS, A. 2002. A new fossil mammal assemblage from the southern Chilean Andes: implications for geology, geochronology, and tectonics. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 15: 285-302.
- FOLGUERA, A., ENCINAS, A., ECHAURREN, A., GIANNI, G., ORTS, D., VALENCIA, V., y CARRASCO, G. 2018. Constraints on the Neogene growth of the central Patagonian Andes at the latitude of the Chile triple junction (45–47 S) using U/Pb geochronology in synorogenic strata. *Tectonophysics*, 744, 134-154.
- FRASSINETTI, D. y COVACEVICH, V. 1999. Invertebrados fósiles marinos de la Formación Guadal (Oligoceno superior-Mioceno inferior) en Pampa Castillo, Región de Aysén, Chile. Subdirección Nacional de Geología, SERNAGEOMIN. Boletín N°51: 96 pp. Santiago.
- GIACOSA, R. y MÁRQUEZ, M. 2002. El Basamento Paleozoico de la Cordillera Patagónica. *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*, (Haller, M. J.; editor), *Congreso Geológico Argentino* No. 15. Relatorio. Capítulo I-3, p. 45-55. El Calafate.
- GIANNI, G.; NAVARRETE, C., ECHAURREN, A., DÍAZ, M., BUTLER, K.; HORTON, B.; ENCINAS, A. y FOLGUERA, A. 2019. Northward propagation of Andean genesis: Insights from Early Cretaceous synorogenic deposits in the Aysén-Río Mayo Basin. *Gondwana Research*. Vol. 77: 238-259.
- GOOD, C.W. 1975. Pennsylvanian-age calamitean cones, elaterbearing spores, and associated vegetative organs. *Palaeontographica*. Abteilung B 153: 28–99.
- GRESSLEY, A. 1838. Observations géologiques sur le Jura Soleurois: Neue Denksch. allg. schweiz. Ges. ges: Naturw, 2, 1-112.
- GRONOVIVUS, J.F. 1755. *Flora orientalis*, vol. 1. de Groot, Leiden, 141 pp.
- HALLER, M. y LAPIDO, O. 1980. El Mesozoico de la Cordillera Patagónica Central. Asociación Geológica Argentina. Revista, XXXV (2): 230-247.
- HEIM, A. 1940. Geological observations in the Patagonian Cordillera (preliminary report). *Ecloage Geologicae Helvetiae*. Vol. 33: 25-51.
- HEPP, C. 2014. 2. Caracterización agroclimática de la Región de Aysén. Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia Occidental. 15.
- HERVÉ, F. 1993. Paleozoic metamorphic complexes in the Andes of Aysén, southern Chile (West of Occidentalia). Proceedings of the First Circum-Pacific and Circum-Atlantic Terrane Conference, Guanajuato, México, 64-65.
- HERVÉ, F.; MPODOZIS, C.; DAVIDSON, J. y GODOY, E. 1981. Observaciones estructurales y petrográficas en el basamento metamórfico del Archipiélago de los Chonos, entre el Canal King y el Canal Ninualac, Aysén. *Revista Geológica de Chile*. Vol. 13: 3-16. Santiago.
- HERVÉ, F.; FAUNDEZ, V.; CALDERÓN, M.; MASSONE, H. y WILLNER, A. 2007. Metamorphic and plutonic basement complexes. *The Geology of Chile* (Moreno, T. y Gibbons, W. editores). The Geological Society: 5-19. Londres.

- HINOJOSA, L. F., PESCE, O., YABE, A., UEMURA, K y NISHIDA, H. 2006. Physiognomical analysis and paleoclimate from Ligorio Márquez fossil floras, Ligorio Márquez Formation, 46°45'S, Chile, In: Nishida H (ed.). Post-Cretaceous floristic changes in southern Patagonia, Chile. Chuo University, Tokyo, 45-55.
- HOLLICK, C. A. y SMITH, P. S. 1936. The tertiary floras of Alaska (No. 182). United States Department of the Interior, Geological Survey.
- HÜNICKEN, M. 1967. Flora terciaria de los estratos de Río Turbio, Santa Cruz (Niveles plantíferos del Arroyo Santa Flavia). Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Córdoba, Serie Ciencias Naturales 56, 139–262.
- IGLESIAS, A., WILF, P., STILES, E., y WILF, R. 2021. Patagonia's diverse but homogeneous early Paleocene forests: angiosperm leaves from the Danian Salamanca and Peñas Coloradas formations, San Jorge Basin, Chubut, Argentina.
- JUSSIEU, A.L. 1789. Genera Plantarum Secundum Ordines Naturales disposita, juxta methodum in horto regio parisiensi Exaratum. Viduam Hérisant & Theophilum Barrois, Paris, 498 pp.
- KRAEMER, P. 1998. Structure of the Patagonian Andes: regional balanced cross section at 50°S, Argentina. International Geology Review, 40 (10), 896-915.
- KUPRIANOVA, E.S. 1962. First International Conference of Palynology, Reports Sovietic Palynology, 21.
- L'HERITIER DE BRUTELLE, C.L. 1788. Sertum Anglicum, seu plantae rariores quae in hortis juxta Londinum, imprimus in horto Regio Kewensi excoluntur. P.-F. Didot, Paris, 70 pp.
- LACASSIE, J.P. 2000. Geología del interfluvio Baker-Bravo (47°30'-48°S), Aysén, Chile. Memoria de Título, Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 111 pp. Santiago.
- LAGABRIELLE, Y.; SUÁREZ, M.; ROSSELLO, E.; HÉRAIL, G.; MARTINOD, J.; RÉGNIER, M. y DE LA CRUZ, R. 2004. Neogene to Quaternary tectonic evolution of the Patagonian Andes at the latitude of the Chile Triple Junction. Tectonophysics. Vol. **385**: 211-241.
- LAVENU, A. Y CEMBRANO, C. 1999. Estados de esfuerzo compresivo plioceno y compresivo-transpresivo pleistoceno, Andes del sur, Chile (38-42°30'S). Revista Geológica de Chile. Vol. 26 (N°1): 67-87. Santiago.
- LEANZA, A. 1972. Andes Patagónicos Australes. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias: 689-706. Córdoba.
- LINNAEUS, C. 1753. Species Plantarum. Imprensis Laurentii Salvii, Stockholm, 1200 p
- LOOSER, G. 1961. Los Pteridófitos o Helechos de Chile (Excepto Isla De Pascua). I. Revista Universitaria (Universidad Católica de Chile) 46: 213-262.
- MACHADO, M. A. 2019. Estudio de helechos de la Formación Huitrera (Eoceno) procedentes de la localidad Arroyo Chacay, provincia de Río negro, Argentina (Doctoral dissertation, Tesis de Licenciatura en Paleontología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires).

- MACHADO, M. A., VERA, E. I., PASSALIA, M. G., y PONCE, M. M. 2021. Eupolypod ferns with dryopteroid/thelypteroid traits from Arroyo Chacay (Huitrera Formation, Eocene), Río Negro Province, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 287, 104381.
- MALONEY, K. T.; CLARKE, G. L; KLEPEIS, K. A. y QUEVEDO, L. 2013. The Late Jurassic to present evolution of the Andean margin: Drivers and the geological record. *Tectonics*. Vol. 32(5): 1.049-1.065.
- MIALL, A. D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*, 22 (4), 261-308.
- MIALL, A. D. 2006. Methods of architectural-element analysis. *The Geology of Fluvial Deposits*, 75-98.
- MOSQUERA, A.; SILVESTRO, J.; RAMOS, V. A.; ALARCÓN, M. y ZUBIRI, M. 2011. La estructura de la Dorsal de Huincul. *Geología y recursos naturales de la provincia de Neuquén. XVIII Congreso Geológico Argentino: 385-397*. Buenos Aires.
- MPODOZIS C. y CORNEJO, P. 2012. Cenozoic tectonics and porphyry copper systems of the Chilean andes. *Economic Geology (Special Publication)*. Vol. 16: 329-360.
- MPODOZIS, C y RAMOS, V. 2008. Tectónica jurásica en Argentina y Chile: extensión, subducción oblicua, rifting, deriva y colisiones. *Revista de la Asociación geológica Argentina*, 63 (4), 481-497.
- NIEMEYER H. 1975. *Geología de la región comprendida entre el lago General Carrera y el Rio Chacabuco, Provincia de Aysén, Chile*. Thesis of Universidad de Chile. Santiago: Universidad de Chile.
- NIEMEYER, H.; SKÁRMETA, J.; FUENZALIDA, R. y ESPINOSA, W. 1984. Hojas Península de Taitao y Puerto Aysén. *Carta Geológica de Chile, N°60-61*. SERNAGEOMIN: 80 pp. Santiago.
- NISHIDA M. y NISHIDA, H. ed. 1988. Preliminary studies on the petrified plants from the tertiary of Chile. *A Report of the Botanical Survey to Bolivia and Southern Chile (1986-87)*. Chiba University, Chiba, 41 pp.
- NISHIDA, M.; NISHIDA, H. y OHSAWA, T. 1990. Miscellaneous notes on the petrified Coniferous Woods from central Chilean Patagonia, XI Region, Chile. *A Report of the Paleobotanical Survey to Patagonia*. Chiba University, Chiba, 47 pp.
- OERSTED, S.A. 1871. Bidrag til Kundskab om Egefamilien i Nutid og Fortid. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter* 9: 331–538
- OKUDA M, NISHIDA H, UEMURA K y YABE A. 2006. Paleocene/Eocene pollen assemblages from the Ligorio Márquez Formation, central Patagonia, XI Region, Chile, In: Nishida H (ed.). *Post-Cretaceous floristic changes in southern Patagonia, Chile*. Chuo University, Tokyo, 37-43.
- PANKHURST, R.; HERVÉ, F.; ROJAS, L. y CEMBRANO, J. 1992. Magmatism and tectonics in Continental Chiloé, Chile (42°-42°30' S). *Tectonophysics*. Vol. 205: 283-294.
- PANKHURST, R.; LEAT, P.; SRUOGA, P.; RAPELA, C.; MÁRQUEZ, M.; STOREY, B. y RILEY, T. 1998. The Chon Aike silicic igneous province of Patagonia and related rocks in

- West Antarctica: a silicic LIP. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. 81: 113-136.
- PANKHURST, R.; WEAVER, S.; HERVÉ, F. y LARRONDO, P. 1999. Mesozoic-Cenozoic evolution of the North Patagonian Batholith in Aysén, Southern Chile. *Journal of the Geological Society of London*. Vol. **156**: 673-694.
- PANTI, C. 2011. Análisis paleoflorístico de la Formación Río Guillermo (Eoceno tardío-Oligoceno temprano?), Santa Cruz, Argentina. *Ameghiniana*, 48(3), 320-335.
- PANTI, C. 2016. Myrtaceae fossil leaves from the Río Turbio Formation (Middle Eocene), Santa Cruz Province, Argentina. *Historical Biology*, 28(4), 459-469.
- PANTI, C. 2018. Fossil leaves of subtropical lineages in the Eocene-? Oligocene of southern Patagonia. *Historical Biology*.
- PANTI, C. 2019. Southern beech (Nothofagaceae) fossil leaves from the Río Turbio formation (Eocene-?Oligocene), Santa Cruz Province, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 21(1), 69-85.
- PLOSKIEWICZ, J.V. y RAMOS, V.A. 1977. Estratigrafía y tectónica de la Sierra de Payaniyeu, provincia de Chubut. *Revista Asociación Geológica Argentina*. Vol. 32 (3): 209-226. Buenos Aires.
- POEPPIG E., ENDLICHER S. 1838. *Nova Genera Ac Species Plantarum*, 2. Lipsiae: Friderici Hofmeister.
- PONCE, M. 1987. Revision of the Argentine Thelypteridaceae (Pteridophyta). *Darwiniana*, 28.
- PONCE, M. y MARTINEZ, O. G. 2008. THELYPTERIDACEAE Ching ex Pic. *Serm. Aportes Botánicos de Salta*, 8.
- PTERIDOPHYTE PHYLOGENY GROUP I. 2016. A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of systematics and evolution*, 54(6), 563-603.
- RAMOS, V. 1976. Estratigrafía de los Lagos La Plata y Fontana, Provincia de Chubut, República Argentina. *Congreso Geológico Chileno N°1*. Actas 1: 43-64. Santiago.
- RAMOS, V.A. 1981. Descripción geológica de la Hoja 47 ab Lago Fontana, provincia de Chubut. *Servicio Geológico Nacional, Boletín* 183:1-130.
- RAMOS, V. 1989. Andean foothills structures in northern Magallanes Basin, Argentina. *AAPG Bulletin*. Vol. **73**, (7): 887-903.
- RAMOS, V. A. 2008. Patagonia: a Paleozoic continent adrift?. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **26**(3): 235-251.
- RICCARDI, A. C. 1971. Estratigrafía en el oriente de la Bahía de la Lancha, Lago San Martín, Santa Cruz, Argentina. *Revista del Museo La Plata*. Vol. 61, No. 7, p. 245-318.
- RILEY, T.R. y LEAT, P.L. 1999. Large volume silicic volcanism along the proto-Pacific margin of Gondwana: lithological and stratigraphical investigations from the Antarctic Peninsula. *Geological Magazine*. Vol. **135**: 1-16.
- RODRÍGUEZ R. 2015. Notas taxonómicas sobre Pteridófitos chilenos. *Gayana. Botánica*, 72(1), 94-100.

- RODRÍGUEZ, R., ALARCÓN, D., y ESPEJO, J. 2009. Helechos nativos del centro y sur de Chile.
- ROMERO, E. 1986. Paleogene phytogeography and climatology of South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 449-461.
- RUSSO, R. y SILVER, P. 1996. Cordillera formation, mantle dynamics, and the Wilson Cycle: *Geology*. Vol. **24**: 511-514
- SALISBURY, R. A. 1807. *The Paradisus Londinensis* 1, 2. Hooker, London.
- SANDERSON, M. J., y DOYLE, J. A. 2001. Sources of error and confidence intervals in estimating the age of angiosperms from rbcL and 18S rDNA data. *American Journal of Botany*, 88(8), 1499-1516.
- SAPORTA, C. 1868. *Prodrome d'une flora fossile des travertins anciens de Sezanne*. Soc Geol. Fr. *Sel.* 2, 8, *Mem.*, 3: 289-436
- SCHÄFFER, J. C. 1760 *Botanica Expedition: Genera plantarum in tabulis sexualibus et universalibus aeri incisus exhibens*. Weiss, Ratisbonae, 338 pp.
- SCHAFFNER, J. H. 1930. Geographic distribution of the species of *Equisetum* in relation to their phylogeny. *American Fern Journal*, 20(3), 89-106.
- SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago de Chile.
- SESSA, E. B., ZHANG, L. B., VÄRE, H., y JUSLÉN, A. 2015. What we do (and don't) know about ferns: Dryopteris (Dryopteridaceae) as a case study. *Systematic Botany*, 40(2), 387-399.
- SINGER, B., ACKERT, R. JR. y GUILLOU, H. 2004. 40Ar-39Ar and K-Ar chronology of Pleistocene glaciations in Patagonia. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. **116**(3-4): 434-450.
- SMALL, J. K. 1903. *Flora of the Southeastern United States*, 48. New York, United States.
- STEFFEN, H. 1944. *Patagonia Occidental. Las cordilleras patagónicas y sus regiones circundantes*. Volumen 1. Ediciones Universidad de Chile: 333 pp. Santiago.
- SUÁREZ, M. y DE LA CRUZ, R. 1992. Geología de la parte oriental de las hojas Puerto Cisnes, Coyhaique, Chile Chico. Informe (Inédito). *Servicio Nacional de Geología y Minería-Intendencia XI Región*. Vol. **2**. 328 p. Santiago.
- SUÁREZ, M. y DE LA CRUZ, R. 1994. Estratigrafía y paleogeografía Mesozoica de Aysén Nororiental (45-46°S), Chile. In Congreso Geológico Chileno, No. 7. *Actas*, 1: 538-542. Concepción.
- SUÁREZ, M. y DE LA CRUZ, R. 2000. Tectonics in the eastern central Patagonian Cordillera (45°30'-47°30'S). *Journal of the Geological Society*, Vol. **157**: 995-1001. London.
- SUÁREZ, M. y DE LA CRUZ, R. 2001. Jurassic to Miocene K-Ar dates from eastern central Patagonian Cordillera plutons, Chile (45-48 S). *Geological Magazine*. Vol. **138** (01): 53-66.

- SUÁREZ, M.; DE LA CRUZ, R. y BELL, C. 1996. Estratigrafía de la región de Coyhaique (latitud 45°-46°S), Cordillera Patagónica, Chile. Congreso Geológico Argentino N°13 y Congreso de Exploración de Hidrocarburos N°3, Actas 1: 575-590. Buenos Aires
- SUÁREZ M.; DE LA CRUZ R. y BELL, M. 2007. Geología del Área Ñireguao-Baño Nuevo, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Escala 1:100.000, serie Geología Básica N° 108, 57 pp.
- SUÁREZ, M., DE LA CRUZ, R. y TRONCOSO, A. 2000. Tropical/subtropical upper Paleocene-lower Eocene fluvial deposits in eastern central Patagonia, Chile (46°45'S). *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **13**: 527-536
- SUÁREZ, M.; DEMANT, A. y DE LA CRUZ, R. 1999. Volcanismo calcoalcalino en W Provincia Chon Aike: Grupo Ibáñez, Jurásico Superior-Cretácico Inferior temprano, Cordillera Patagónica de Aysén, Chile (4530'-4630'S). Actas Congreso Geológico Argentino No. 4. Acta 2: 186-189. Salta.
- TANAI, T. 1986. Phytogeographic and phylogenetic history of the genus *Nothofagus* Bl. (Fagaceae) in the southern hemisphere. *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University Series IV* 21: 505-582.
- TAYLOR, E. L., TAYLOR, T. N., y KRINGS, M. 2009. Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants. Academic Press: 1230 p. Cambridge.
- THOMAS, C.R. 1949. Geology and petroleum exploration in Magallanes Province, Chile. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. Vol. **33**: 1.553-1.578.
- THOMSON, S. N. 2002. Late Cenozoic geomorphic and tectonic evolution of the Patagonian Andes between latitudes 42°S and 46°S: An appraisal based on fission-track results from the transpressional intra-arc Liquiñe-Ofqui fault zone. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 114 (9):1159-1173.
- THORNE, R. F. 1992. An updated phylogenetic classification of the flowering plants. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*, 13(2), 365-389.
- TRONCOSO, A. y ENCINAS, A. 2006. La tafoflora de cerro Centinela (Chile, VI Región): vegetación y clima de Chile central a fines del Mioceno-comienzos del Plioceno. *Ameghiniana*, 43(1), 171-180.
- TRONCOSO, A., SUÁREZ, M., DE LA CRUZ, R., y PALMA-HELDT, S. 2002. Paleoflora de la Formación Ligorio Márquez (XI Región, Chile) en su localidad tipo: sistemática, edad e implicancias paleoclimáticas. *Revista geológica de Chile*, 29(1), 113-135.
- TRYON, R. 1960. A glossary of some terms relating to the fern leaf. *Taxon*, 104-109.
- URRUTIA, J., MARTICORENA, A., y SÁNCHEZ, P. 2017. *Typha latifolia* L. (Typhaceae), nuevo registro para la flora de Chile. *Gayana. Botánica*, 74(2), 299-301.
- UYEDA S. y KANAMORI, H. 1979. Back-arc opening and the mode of subduction. *Journal of Geophysical Research*. Vol. **84**: 1049-61.
- VENTO, B., GANDOLFO, M. A., NIXON, K. C., y PRÁMPARO, M. 2017. Paleofloristic assemblage from the Paleogene Río Guillermo Formation, Argentina: preliminary results of phylogenetic relationships of *Nothofagus* in South America. *Historical Biology*, 29(1), 93-107.

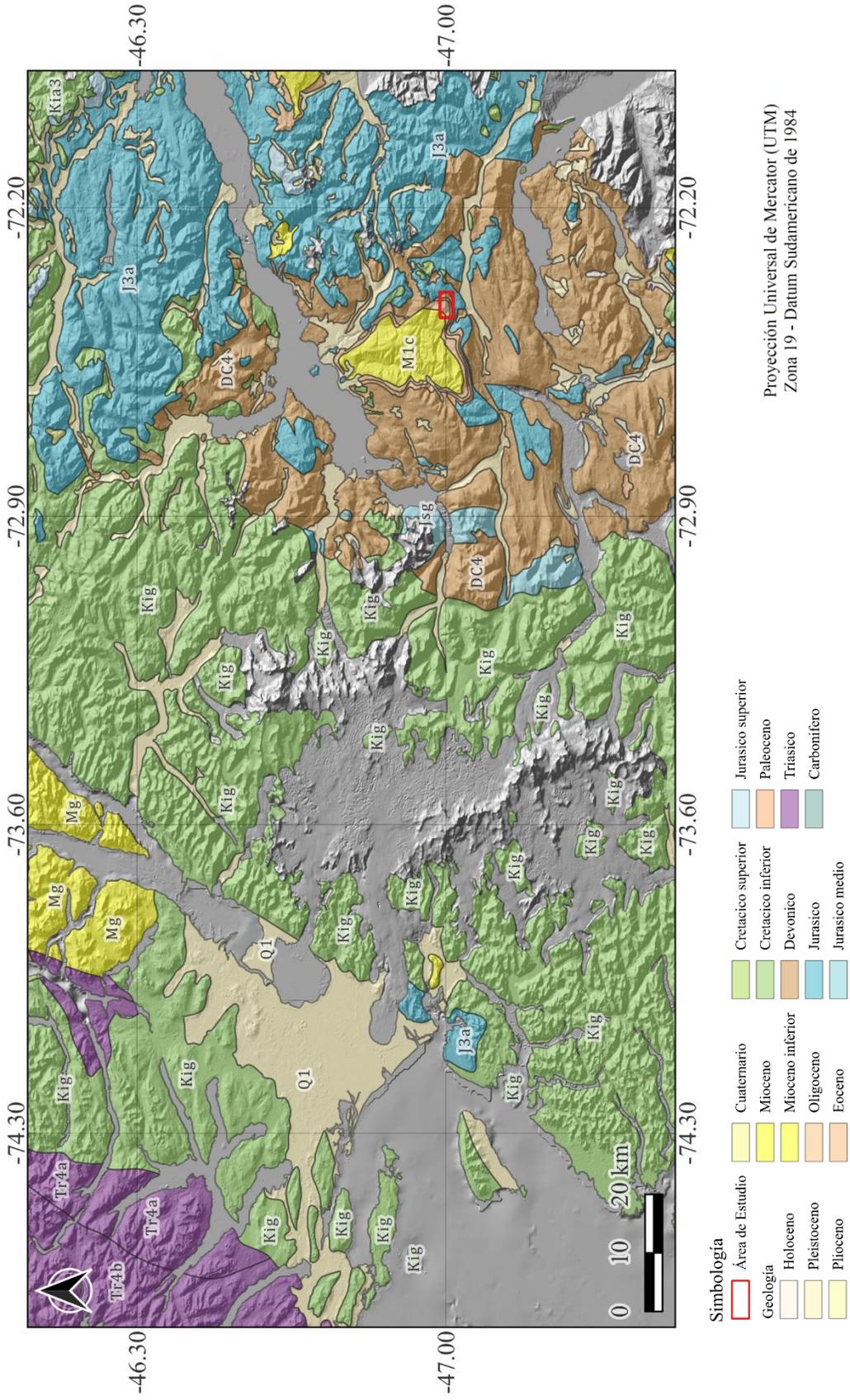
- VENTO, B. y PRÁMPARO, M. B. 2018. Angiosperm association from the Río Turbio Formation (Eocene - ?Oligocene) Santa Cruz, Argentina: revision of Hünicken's (1955) fossil leaves collection. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, 42(1), 125-153.
- VERA, J. A. 1994. Estratigrafía, principios y métodos. Editorial rueda, Madrid España.
- VIDAL, F. 2024. Sedimentología, estratigrafía y proveniencia sedimentaria de la serie paleógena en Pampa Castillo, Parque Nacional de la Patagonia, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad Mayor, Chile.
- WANG, X. 2023. Origin of Angiosperms: Problems, Challenges, and Solutions. *Life*, 13(10), 2029.
- WEAVER, S.; BRUCE, R.; NELSON, E.; BRUECKNER, H. y LEHURAY, A. 1990. The Patagonian batholith at 48°S latitude, Chile; Geochemical and isotopic variations. *Geological Society of America Special Papers*. Vol. 241: 33-50.
- WEISCHET, W. 1960. Die geographischen Auswirkungen des Erdbebens vom 22. Mai 1960 im Kleinen Süden Chiles (vorläufiger Bericht). *Erdkunde*. Vol. 14: 273-288.
- WOLFE, K. H., GOUY, M., YANG, Y. W., SHARP, P. M., y LI, W. H. 1989. Date of the monocot-dicot divergence estimated from chloroplast DNA sequence data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 86(16), 6201-6205.
- YABE, A., UEMURA, K., y NISHIDA, H. 2006. Geological notes on plant fossil localities of the Ligorio Márquez Formation, central Patagonia, Chile. Post-Cretaceous floristic changes in southern Patagonia, Chile. Tokyo, Japón. Chuo University, 29-35.
- ZAMALOA, M. C., CORNOU, E., MARTÍNEZ, M., QUATTROCCHIO, M., OLIVERA, D., ZAVALA, C. y ASENSIO, M. 2022. The first fossil record of a giant horsetail (*Equisetum*, Equisetaceae) is from the Miocene of Patagonia, Argentina. *Andean geology*, 49(2), 273-287.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1.	Mapa Geológico de la parte central de la Región de Aysén.....	97
2.	Columna Oeste (Vidal, 2024).....	98
3.	Columna Localidad N°3.....	99
4.	Morfotipos y Venaciones de Helechos.....	100
5.	Detalles de Helechos.....	101
6.	Fronda de Helecho Thelypteridaceae.....	102

Mapa Geológico de la parte central de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, Chile.



Columna Oeste: Formación San José (Vidal, 2023)

