



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**TAXONOMÍA, ESTRATIGRAFÍA Y AMBIENTE DEPOSICIONAL
DE LA FLORA FÓSIL DE LA FORMACIÓN AGUA CHICA
(TRIÁSICO SUPERIOR), QUEBRADA PAN DE AZÚCAR, REGIÓN
DE ATACAMA, CHILE.**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Geóloga.

Profesor Guía: Dr. Philippe Moisan Tapia

Profesora Co-guía: Mg. Ximena Robles Cornejo

Camila Fernanda Leiva Villegas

Copiapó, Chile 2024

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi profesor guía, al Dr. Philippe Moisan por confiar y darme la oportunidad de ser parte del proyecto DIUDA 22411 que financió este trabajo de investigación. Gracias profe por su disposición, enseñanzas, consejos, apoyo, correcciones a lo largo de esta tesis, por incentivar e inspirarme en esta área tan bonita como es la Paleobotánica. A mi profesora co-guía, Mg. Ximena Robles, por todas sus enseñanzas durante todos mis años de la carrera de Geología, y en especial en esta tesis, por ofrecerme su ayuda cuando la necesitaba.

Agradecer a mi mamita Sandra, que sin su apoyo incondicional hubiese costado mucho más, por confiar en mí más que cualquier persona, por darme ánimo en los momentos de estrés, por su infinita paciencia, gracias por todo esto y mil cosas más, ¡me faltarían hojas para agradecerte mamá! A mi tío Mario, por el apoyo brindado durante todo este tiempo, por acompañarme en cada mudanza durante los años de carrera y por todo el cariño. A mi hermana Francesca y sobrina Maite, por sacarme muchas sonrisas, y hacer que saliera del computador para disfrutar con ellas cada vez que era necesario, gracias por hacerme recordar que soy capaz de muchas cosas. A mi hermano Rodrigo, que pese a la distancia siempre estaban los mensajes y las llamadas de apoyo y amor. Un especial agradecimiento a mi abuelo, el papi Enrique, gracias por todas esas conversaciones, por siempre escucharme, por aprender juntos, por sus palabras, y por siempre hacerme saber lo orgulloso que está.

Agradecer a mis amigos y amigas que conocí durante la carrera, por las caídas en terrenos, por las risas, por los nervios antes de las pruebas, por siempre estar disponibles cada vez que tenía duda sobre algo (o faltaba a clases), gracias por tantos recuerdos. A mis compañeros tesisistas, Javier y Marcelo, gracias por acompañarme a terreno, por la buena onda y por compartir experiencias en los congresos que hemos asistido, les deseo el mayor de los éxitos en su próxima defensa. A Rodrigo, Bianca, Carolina, Daniel y Karla por la disposición de querer ayudarme en terreno y geochamullar conmigo jajaj, dentro de tantas conversaciones que tuvimos del sector, no estábamos tan errados, gracias por sus palabras de ánimo y confiar en mí más que yo misma ¡lo logré!

Por último, muy agradecida de CONAF, por su autorización para recorrer el Parque Nacional Pan de Azúcar, por recibirnos tan bien, por el interés de conocer lo que estábamos haciendo, por todo el apoyo, logística y alojamiento cada vez que fuera necesario, muchas gracias.

RESUMEN

Durante recientes expediciones a la Formación Agua Chica se ha recolectado una diversa flora fósil compuesta de frondas y maderas. El material recolectado corresponde a 126 impresiones de plantas fósiles, pertenecientes a helechos como *Dictyophyllum*, *Cladophlebis* y *Asterotheca*, helechos con semilla (pteridospermas) como *Dicroidium*; cicadófitas como *Pseudoctenis*, *Kurtziana* y *Pterophyllum*, además de hojas con afinidad taxonómica incierta como *Taeniopteris*. Estos taxones son característicos de las asociaciones vegetales del Triásico Tardío de Gondwana. Las descripciones de estos géneros se basaron en 126 impresiones foliares, las cuales se encuentran preservadas en areniscas de grano fino a muy fino. Las maderas fósiles se encuentran como rodados e in situ en conglomerados brechas, aglomerados y lavas, los cuales se encuentran silicificados. En asociación con esta flora, se encontró un resto de insecto, el cual corresponde al primer registro de artrópodo continental para esta formación, además del primer registro de trazas fósiles continentales. El análisis paleoflorístico en este estudio, entrega una edad relativa al Rhaetiense, y junto con dataciones radiométricas (U-Pb) en una toba proveniente de la Formación Agua Chica en la Quebrada Pan de Azúcar, de unos 200.7 ± 2.8 Ma (Espinoza *et al.*, 2015), indican que la facies continental podría alcanzar el límite Triásico-Jurásico, acotando una edad para la Formación Agua Chica de Rhaetiense-Hettangiense. El sector este de esta formación, lugar donde se enfocó este estudio, está constituido principalmente por una sucesión volcánica, conformada por aglomerados y brechas con clastos andesíticos y dacíticos, con una masa fundamental afanítica con fenocristales de plagioclasa, y lavas de composición intermedia, las cuales presentan maderas fósiles silicificadas in situ. La sucesión volcánica, se encuentra alternada por sucesiones clásticas finas, en donde se encontró esta diversa flora fósil. Las litofacies sedimentarias gruesas son interpretadas como depósitos de abanicos aluviales, compuestos principalmente por flujos de detritos. Las sucesiones clásticas finas, en su mayoría no estratificadas, sugieren depósitos en llanuras aluviales, en donde se habría depositado la flora fósil. La influencia volcánica supone la proximidad a un centro de producción volcánica. El estudio de esta flora fósil permite establecer una correlación bioestratigráfica con otras localidades del norte de Chile y con otras cuencas triásicas de Gondwana y, además, aporta al conocimiento de la evolución vegetal en los ecosistemas continentales en el borde sudoccidental durante la crisis biótica del límite Triásico-Jurásico.

Palabras clave: Gondwana, flora fósil, Triásico Tardío, insecto fósil, *Dicroidium*.

Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de investigación	1
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Hipótesis	3
1.4 Ubicación y accesos	4
1.5 Metodología	5
1.5.1 Estudio bibliográfico	5
1.5.2 Salidas a terreno	5
1.5.3 Columnas estratigráficas	5
1.5.4 Etapa gabinete	6
1.5.5 Descripción de Litofacies	7
1.5.6 Simbología	7
1.6 Trabajos anteriores	8
1.7 Patrimonio Parque Nacional Pan de Azúcar (PNPA)	11
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Flora triásica de Gondwana	13
2.2 Flora triásica del norte de Chile	17
CAPÍTULO 3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
3.1 Etapa Pre-Andina	21
3.2 Entorno geológico local	24
CAPÍTULO 4. SISTEMÁTICA	27
4.1 Paleobotánica	27
4.1.2 Síntesis de los taxones descritos	51
4.1.3 Abundancia relativa de los distintos grupos de la flora fósil presentes en la Formación Agua Chica	52
4.2 Paleontomología	53
4.3 Paleoicnología	54
CAPÍTULO 5. ESTRATIGRAFÍA	58
Columna Estratigráfica 1 (C1)	59
Columna Estratigráfica 2 (C2)	62
Columna Estratigráfica 3 (C3)	65

5.1 Descripción y análisis de litofacies.....	67
5.1.1 Litofacies Sedimentarias.....	67
5.1.2 Litofacies Volcánica.....	74
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN.....	82
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	91

Índice de Figuras

Figura 1.1. Mapa de ubicación y accesos a la Formación Agua Chica (cuadro rojo).....	4
Figura 1.2. Simbología utilizada para las columnas estratigráficas.....	7
Figura 1.3. Límites administrativos del Parque Nacional Pan de Azúcar.....	11
Figura 2.1 Distribución de microfioras de Onslow e Ipswich del Gondwana.....	15
Figura 2.2 Mapa paleogeográfico que muestra la zonación floral en el Triásico Superior.....	15
Figura 3.1 Mapa geológico de la parte este de la Formación Agua Chica.	20
Figura 4.1 Lámina flora fósil de la Formación Agua Chica. A. <i>Asterotheca fucshi</i> (Escala = 1cm); B. <i>Asterotheca rigbyana</i> (Escala = 1cm); C y D. <i>Cladophlebis mesozoica</i> (Escala = 1cm); E. <i>Cladophlebis</i> sp. (Escala = 1cm)	33
Figura 4.2 Lámina flora fósil de la Formación Agua Chica. A. <i>Dictyophyllum</i> cf. <i>tenuifolium</i> ; B. <i>Dictyophyllum</i> sp.; C. <i>Dicroidium</i> cf. <i>lancifolium</i> ; D. <i>Pseudoctenis</i> cf. <i>longipinnata</i> ; E. <i>Pseudoctenis</i> cf. <i>carteriana</i> ; F. <i>Kurtziana cacheutensis</i> ; G. <i>Kurtziana</i> cf. <i>paipotensis</i> . (Escala = 1 cm).....	44
Figura 4.3 Lámina flora fósil de la Formación Agua Chica. A. <i>Taeniopteris</i> cf. <i>anavolans</i> (Escala = 2cm); B. <i>T.</i> cf. <i>densinervis</i> (Escala = 1cm).; C. <i>T.</i> cf. <i>homerifolius</i> (Escala = 1cm); D y E. <i>T.</i> cf. <i>lutzae</i> (Escala = 2cm); F. <i>T.</i> cf. <i>vittata</i> (Escala = 1cm); G. <i>T. vittata</i> (Escala = 1cm); H. <i>T. magnifolia</i> (Escala = 2cm); I. <i>T. homerifolius</i> con trazas postdeposicionales indeterminadas (flecha roja)	50
Figura 4.4. Gráfico de abundancia relativa	52
Figura 4.5 Resto de ala de insecto fósil. Escala = 1cm.....	53
Figura 4.6. Trazas fósiles preservadas en lutita pardo rojiza. Escala = 4 cm	57
Figura 5.1. Ubicación de las secciones estratigráficas (C1, C2, C3) realizadas en este estudio.....	58
Figura 5.2. Fotos afloramiento parte inferior de la columna C1.....	59
Figura 5.3. Fotos afloramientos parte superior de la columna C1.....	60
Figura 5.4. Columna estratigráfica C1	61

Figura 5.5. Fotos afloramiento parte inferior de la columna C2.....	62
Figura 5.6. Fotos afloramientos parte superior de la columna C2.....	63
Figura 5.7. Columna estratigráfica C2 con coordenadas UTM 347.504 m E – 7.117.345 m N.....	64
Figura 5.8. Fotos afloramientos principales de la columna C3.....	65
Figura 5.9. Columna estratigráfica C2 con coordenadas UTM 347.656 m E – 7.117.263 m N.....	66
Figura 5.10. Fotos litofacies sedimentarias presentes en este estudio.....	73
Figura 5.11. Fotos litofacies volcánicas presentes en este estudio.....	76
Figura 5.12. Correlación estratigráfica del sector este de la Formación Agua Chica.....	81
Figura 6.1. Biocronología de las especies descritas para la Formación Agua Chica.....	84

Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla de clasificación granulométrica para sedimentos clástico.....	6
Tabla 2. Descripción e interpretación de litofacies sedimentarias	72
Tabla 3. Descripción e interpretación de litofacies volcánica	75
Tabla 4. Códigos de asociación de facies definidas en este estudio para la Formación Agua Chica.....	80
Tabla 5. Ocurrencia de los géneros de flora fósil de la Formación Agua Chica con otras formaciones triásicas del norte de Chile.....	87
Tabla 6. Ocurrencia de los géneros de flora fósil de la Formación Agua Chica con otras formaciones triásicas de Argentina.....	88

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

La era Mesozoica se inició hace 251.902 ± 0.024 Ma (Cohen *et al.*, 2023), siendo el Triásico su primer periodo, cuyo nombre alude a la condición “intermedia” de su biota respecto a la fauna Paleozoica y la Cenozoica (Benedetto, 2019), ya que este periodo está limitado por dos extinciones masivas. La extinción de fines del Pérmico, considerada por diversos autores como la mayor extinción masiva, extinguiéndose ~95% de las especies marinas y 75% de especies terrestres (Erwin, 2015; Burgess y Bowring, 2015; Stanley, 2016). Estas extinciones han sido atribuidas a cambios climáticos, geológicos y biológicos, como el inicio de la fragmentación del supercontinente Pangea, las condiciones de *greenhouse* (fase de invernadero), los cuales, a su vez, produjeron especiación y migración de los organismos, y, por consiguiente, se establece una biota diferente a la del Paleozoico (Parrish, 1993; Spalletti *et al.*, 2003). El Triásico fue testigo de la recuperación de los sistemas terrestres después de la extinción masiva de fines del Pérmico y vio una proliferación de nuevas familias y géneros de helechos y gimnospermas que alcanzaron su apogeo en el Triásico Tardío antes de otra crisis biótica global al final del periodo (Anderson *et al.*, 1999; Willis y McElwain, 2002, Vajda y Bercovici, 2014; Kustatscher *et al.*, 2018). El Triásico de Gondwana está compuesto por las áreas tropicales y extratropicales. El área Extratropical está definida por la megaflore de “*Dicroidium*”, y se divide en dos provincias: la provincia SW (Brasil, Chile, Argentina y Sudáfrica) y la provincia SE (Antártida y Australia) (Artabe *et al.*, 2003). Durante el Triásico Tardío en el Hemisferio Sur, se estableció un régimen subtropical seco, fuertemente estacional y que configura un ambiente de carácter semiárido (Tanner, 2000; Spalletti *et al.*, 2003). Además, se caracteriza por la máxima diversificación de la “Flora de *Dicroidium*” (Spalletti *et al.*, 1999; Zamuner *et al.*, 2001) con bosques estacionales subtropicales siempreverdes dominados por *Corystospermaceae*, *Voltziaceae* y *Protopinaceae* (Spalletti *et al.*, 2003).

En Chile, los afloramientos triásicos son escasos, dispersos y han sido fuertemente afectados por el magmatismo y el tectonismo del Cenozoico, provocando que la

geodinámica del margen sudoccidental de Gondwana sean pocos conocidos (Espinoza *et al.*, 2015).

La Formación Agua Chica junto con la Formación Cifuncho representan las secuencias mesozoicas más antiguas de la Cordillera de la Costa en las regiones de Atacama y Antofagasta (Suárez *et al.*, 1985). Mercado (1980) define la Formación Agua Chica, como una secuencia integrada principalmente por rocas volcánicas, que se disponen discordantemente sobre el basamento metasedimentario, y rocas graníticas que la intruyen, en cuya relación de contacto no se observan niveles fosilíferos, a excepción de unas tobas y areniscas rojas con restos de troncos fósiles, los cuales solo mencionó, sin identificarlos. Por lo tanto, la edad estimada para esta formación, se ha realizado con base en sus relaciones estratigráficas, interpretada como triásica, posiblemente del Triásico Tardío.

De acuerdo con estudios paleobotánicos preliminares realizados por Bebiolka (1999), por primera vez se hallaron impresiones de plantas fósiles relativamente bien preservadas en la Formación Agua Chica, asignables tentativamente a *Asterotheca* cf. *rigbyana*, *Dicroidium zuberi*, *Dicroidium odontopteroides*, *Dicroidium* aff. *odontopteroides*, *Dejerseya* ? sp., *Taeniopteris anavolans*, *Taeniopteris cyclomeiformis* y *Taeniopteris* sp., los cuales, a través de sus rangos cronoestratigráficos conocidos, permitieron confirmar la edad Triásico Tardío.

Espinoza *et al.* (2015), mediante análisis cinemáticos y datos geocronológicos U-Pb realizados en una toba, reportan la primera edad absoluta de la Formación Agua Chica (~200 Ma), por lo que esta unidad es más joven que la Formación Cifuncho y la facies continental podrían haber alcanzado el límite Triásico-Jurásico.

En esta propuesta de investigación, de acuerdo con los antecedentes descritos, y a la escasez de estudios paleobotánicos detallados en la Formación Agua Chica, se presenta un estudio taxonómico detallado de la flora fósil del área de interés y se esclarece las condiciones paleoambientales en las cuales se depositaron estos sedimentos y la vegetación con el fin de aportar al entendimiento de la composición paleoflorística del margen sudoccidental del Gondwana.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Caracterizar taxonómica, litológica y estratigráficamente la flora fósil de la Formación Agua Chica, Quebrada Pan de Azúcar.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar y clasificar taxonómicamente la flora fósil y evaluar cronoestratigráficamente el material paleontológico.
- Realizar un levantamiento estratigráfico para identificar el nivel guía de los restos fósiles.
- Describir las litofacies sedimentarias y establecer sus asociaciones, con el propósito de interpretar el ambiente deposicional a través de su litología, estructuras y contenido fósil.
- Extraer datos paleoclimáticos, paleogeográficos y paleoflorísticos del área y establecer correlaciones bioestratigráficas con otras localidades del Triásico Superior en el norte de Chile y del resto de Gondwana.

1.3 Hipótesis

Los sedimentos de la Formación Agua Chica contendrían microfósiles vegetales, preservados como impresiones, típicos del Triásico Tardío del Gondwana (flora de *Dicroidium*) tales como, *Asterotheca*, *Cladophlebis*, *Dictyophyllum*, *Pseudoctenis*, *Pterophyllum* y *Taeniopteris*, los cuales se habrían depositado en un ambiente de abanico aluvial con fuerte afinidad volcánica.

1.4 Ubicación y accesos

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Cordillera de la Costa del norte de Chile, en la región de Atacama, aproximadamente 30 kms al norte de Chañaral y a 190 kms de Copiapó, entre los 26°03' a 26°02'S y 70°32' a 70°30'W. El acceso al sector se realiza desde la ruta 5 Norte o Panamericana (en dirección hacia el norte), recorriendo aproximadamente unos 200 kms hasta llegar al Parque Nacional Pan de Azúcar, en donde se encuentra el Centro de Informaciones de CONAF. Luego se debe tomar la ruta C-112, recorriendo unos 18 kms hacia el noreste, hasta llegar al área de estudio (Figura 1.1).

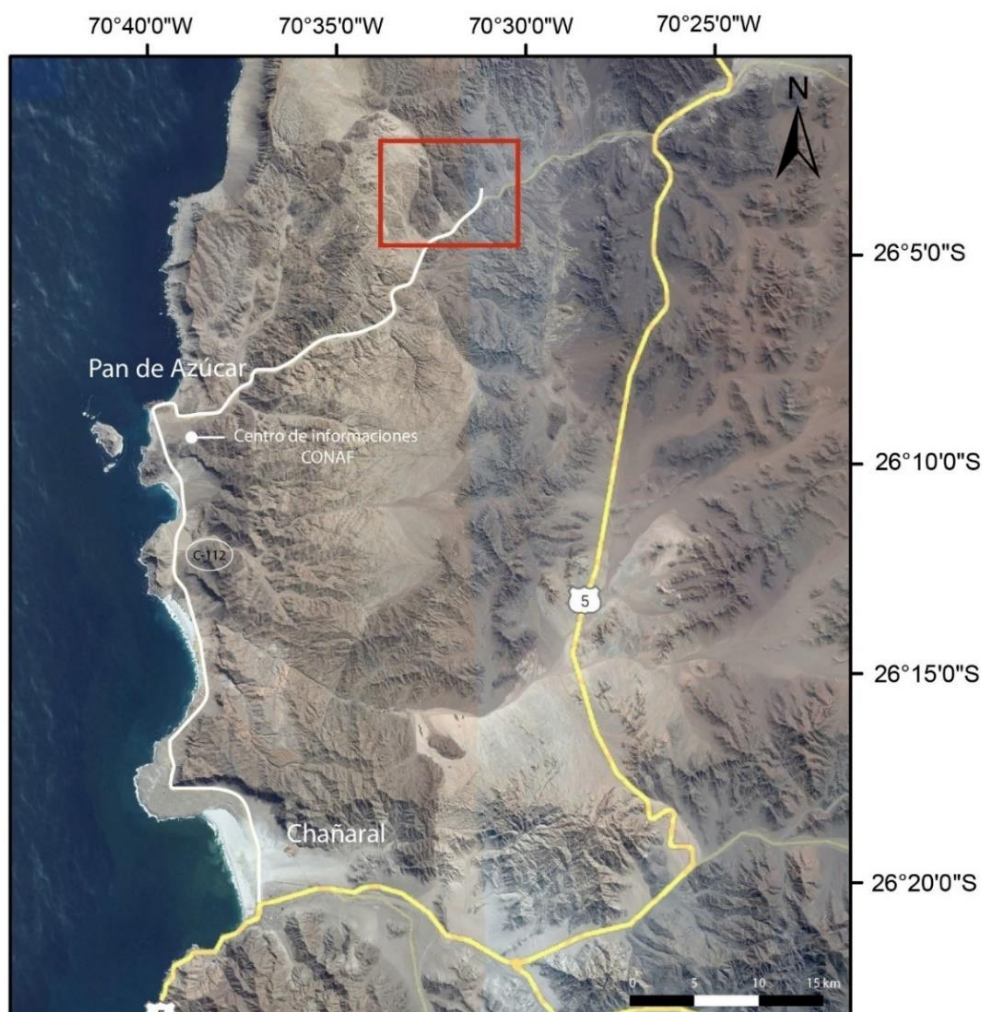


Figura 1.1. Mapa de ubicación y accesos a la Formación Agua Chica (cuadro rojo). Ubicación del Parque Nacional Pan de Azúcar y centro de informaciones de CONAF.

1.5 Metodología

1.5.1 Estudio bibliográfico

Se realizó una completa recopilación de información referente al área de estudio durante el año 2022 y 2023, de acuerdo a la geología regional del sector, centrándose en publicaciones que ofrecieran información respecto a flora fósil del margen sudoccidental de Gondwana. También se consideró trabajos que hicieran mención a características paleoclimáticas y paleogeográficas para el Triásico Superior del Gondwana.

1.5.2 Salidas a terreno

El 15 de noviembre del 2021 se realizó el primer terreno, donde se viajó al Parque Nacional Pan de Azúcar con la finalidad de identificar las quebradas con contenido fosilífero con base en estudios preliminares realizados por Bebiolka (1999). El 14 de junio del 2022 se realizó el segundo terreno en la Formación Agua Chica, donde se halló un primer punto con macroflora fósil. Entre el 19 y 20 de diciembre del 2022 y el 12 de mayo del 2023, se viajó al área de interés en busca de otros puntos con plantas fósiles, en donde se realizó la recolección de muestras fósiles y toma de datos para la elaboración de columnas estratigráficas. La descripción y clasificación de las rocas sedimentarias se desarrolló según Udden-Wentworth (1922). El material recolectado corresponde a 140 fósiles, de los cuales 126 son impresiones de plantas fósiles preservadas en areniscas de grano fino a muy fino, 12 maderas fósiles silicificadas, 1 impresión de resto de insecto y 1 traza fósil, preservada en un nivel de lutita color pardo rojiza.

1.5.3 Columnas estratigráficas

El trabajo de campo, también consistió en la descripción y levantamiento de secciones estratigráficas en los afloramientos portadores de flora fósil (ver Figura 5.1). Las secciones se caracterizaron litológicamente teniendo en cuenta el color, la textura, composición, granulometría y presencia de estructuras sedimentarias y fósiles, prestando atención a los cambios verticales y horizontales. Para la clasificación textural de las rocas sedimentarias, se utilizó la categorización para rocas siliciclásticas compuestas por distintas fracciones

de tamaño según Udden-Wentworth (1922), mientras que, para las rocas volcánicas, se utilizó la categorización de tamaño principalmente de Fisher (1961) y Lapidus y Winstanley (1987), junto con la clasificación basada en la composición de Schmid (1981).

Tabla 1. Tabla de clasificación granulométrica para sedimentos clásticos (modificada de Udden-Wentworth, 1922).

mm	Phi	Sedimento	Roca
256	-8	Bloque - Ripio	Grava Conglomerado
128	-7		
64	-6	Guijón - Ripio	
32	-5		
16	-4		
8	-3	Guijarro - Grava	
4	-2	Gránulo - Gravilla	Arena Arenisca
2	-1	Arena muy gruesa	
1	0	Arena gruesa	
0.5	1	Arena media	
0.25	2	Arena fina	
0.125	3	Arena muy fina	Fango o Lodo Limolita
0.063	4	Limo grueso	
0.031	5	Limo medio	
0.0156	6	Limo fino	
0.0078	7	Limo muy fino	
0.0039	8	Arcilla	

1.5.4 Etapa gabinete

Posterior al trabajo de campo, se organizó el material y datos de secciones estratigráficas a través de la elaboración de tablas Excel, etiquetando, fotografiando, documentando y almacenando la flora fósil en una base de datos de la Colección Paleobotánica de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Atacama. Las fotografías se realizaron en el Departamento de Química y Biología de la misma institución, con la ayuda de una mesa de reproducción fotográfica Kaiser y una cámara digital Nikon D5600. Los fósiles fueron también fotografiados y analizados usando una lupa Leica EZ4W con cámara integrada de 5 megapíxeles y una lupa Olympus SZ61TR con una cámara EPSO de 5 megapíxeles. Las columnas estratigráficas fueron dibujadas usando el software vectorial Adobe Illustrator, permitiendo la digitalización de los datos del terreno y la delimitación de las facies a una escala de 1:200. Los fósiles se encuentran

depositados en el Laboratorio de Paleobotánica con los acrónimos UDA.PB-62-98; 397-495, para las 138 impresiones de plantas fósiles y UDA-PI-212; 414 para el icnofósil y resto de insecto, respectivamente.

1.5.5 Descripción de Litofacies

Para las descripción e identificación de litofacies sedimentarias, se utilizó la nomenclatura de las facies sedimentarias propuestas por Miall (2006), la cual consiste en una letra mayúscula para la granulometría del material (G: grava; S: arena; F: finos) y una letra minúscula para indicar alguna textura o estructura característica (h: estratificación paralela; m: masivo), incluyendo una interpretación general para cada código definido (Tabla.1). Para las interpretaciones se utiliza la base de Einsele (1992), Miall (1996, 2006, 2010) y Nichols (2009).

Para las descripciones de litofacies volcánicas se utiliza la nomenclatura de las facies de McPhie *et al.* (1993) y D'Elia *et al.* (2012), y para las interpretaciones se utiliza la base de McPhie *et al.* (1993), Branney y Kokelaar (2002).

1.5.6 Simbología

Para la confección de columnas estratigráficas, figuras y esquemas se utilizó la simbología y leyenda de la Figura 1.2.




















Litología	Simbología	Fósiles
 Lutita	 Laminación paralela	 Plantas fósiles
 Arenisca	 Estratificación oblicua discontinua	 Maderas silicificadas
 Conglomerado	 Capas de lentes	 Resto de insecto
 Brecha sedimentaria	 Imbricación	 Trazas fósiles
 Aglomerado	 Tramo cubierto	
 Brecha volcánica	 Contacto neto	
 Lava	 Contacto erosivo	
 Jaspe		

Figura 1.2. Simbología utilizada para las columnas estratigráficas.

1.6 Trabajos anteriores

Mercado (1980) describió la geología del área de Pan de Azúcar (escala 1:100.000). Definió por primera vez la Formación Agua Chica, litología, fisiografía y estratigrafía, en la misma localidad tipo correspondiente al curso superior de la Quebrada Agua Chica. Esta formación corresponde a una secuencia integrada principalmente por rocas volcánicas, que se disponen discordantemente sobre el Basamento Metasedimentario, y se encuentra cubierta en aparente concordancia por rocas de la Formación Pan de Azúcar. En su base, presenta un conglomerado de color rojizo oscuro, de muy mala selección, cuyos clastos se constituyen principalmente por cuarcita y filita del Basamento Metasedimentario. Sobre lo anterior, se disponen tobas amarillas y conglomerados volcánicos gruesos, amarillentos, verdosos y morados de clastos dacíticos y andesíticos. Finalmente, se observa lavas de composición andesíticas y dacíticas. La potencia de la Formación Agua Chica es de aproximadamente 400-420 m.

Suarez et al. (1985) explicaron la evolución andina de la zona costera de la región de Antofagasta, la cual comenzó durante el Triásico Superior, con la acumulación de potentes depósitos aluviales asociados a vulcanismo andesítico, representados por las formaciones Cifuncho y Agua Chica, representando las secuencias mesozoicas más antiguas de la Cordillera de la Costa. La presencia de los depósitos aluviales sugiere tectonismo sincrónico a su depositación al comienzo de la evolución andina durante el Triásico Tardío.

Herbst et al. (1998) describen e ilustran diez especies de pteridófitas en la parte media de la Formación La Ternera, en la Quebrada La Cachivarita. Dentro de las especies descritas se encuentran: *Rienitsia ternerae*, *Todites chilensis*, *Todites* sp., *Neocalamites carrerei*, *Asterotheca rigbyana*, *Asterotheca fuchsi*, *Cladophlebis mendozaensis*, *Cladophlebis kurtzi*, *Gleichenites cachivaritensis* y *Dictyophyllum (D.) tenuifolium*. Respecto al estudio sedimentológico, se interpreta como depósitos en un lago que progresivamente se torna más somero.

Bebiolka (1999) realizó el único estudio paleobotánico en la Formación Agua Chica, Quebrada Pan de Azúcar, el cual describe por primera vez el hallazgo de flora fósil en el

sector, el cual corresponde a impresiones de flora asignadas como *Asterotheca* cf. *rigbyana*, *Dicroidium zuberi*, *Dicroidium odontopteroides*, *Dicroidium* aff. *odontopteroides*, *Dejerseya* ? sp., *Taeniopteris anavolans*, *Taeniopteris cyclomeiformis* y *Taeniopteris* sp, pudiendo asignar con mayor precisión la edad de la Formación Agua Chica.

Herbst (2000) describió cinco taxones de Dipteridaceae, de las cuales, dos son especies nuevas para el Triásico Superior de Chile, estas son: *Dictyophyllum* (*Dictyophyllum*) *fuenzalidai* y *Goepfertella taverai*.

Gnaedinger y Herbst (2001) realizaron un estudio sistemático de representantes de los órdenes Corystospermales y Peltaspermales (Pteridospermopsida) provenientes de unidades triásicas del norte de Chile. Dentro de las Corystospermales se tiene los siguientes taxones: *Dicroidium hernandezii*, *D. argenteum*, *D. crassum*, *D. dubium*, *D. lancifolium*, *D. obtusifolium*, *D. odontopteroides*, *Johnstonia dutoitii*, *Xylopteris argentina*, y cf. *Zuberia* sp. Mientras que para la familia Peltaspermaceae se tiene: *Lepideptoris madagascariensis* y *L. stormbergensis*.

Gnaedinger y Herbst (2004) describen diez especies de Pteridophylla del Triásico en el norte chico de Chile: *Taeniopteris anavolans*, *T. densinervis*, *T. homerifolius*, *T. magnifolia*, *T. plicatella*, *T. thomsoniana*, *T. vittata*, *T. wianamattae*, *Taeniopteris* sp. A, *Taeniopteris* sp. B. Además, describen dos especies nuevas: *T. lutzae* y *T. troncosoi*, para la Formación La Ternera, Formación Las Breas y Formación El Puquén, todas del Triásico Superior.

Niemeyer et al. (2008) asignan una edad Triásica Medio a Triásico Superior a la Formación Pular en Sierra de Almeida, Antofagasta, con base en los nuevos hallazgos de palinomorfos, los cuales son consistentes con el registro de megafósiles de plantas, siendo una hoja perteneciente a *Pseudoctenis fissa*.

Torres et al. (2010) presentaron el estudio de maderas de gimnospermas del Triásico y Jurásico de la región de Atacama en el norte de Chile. En secuencias del Triásico de la Formación Agua Chica, recolectaron ramas silicificadas, tanto en rodados como in situ, encontradas en rocas volcanoclásticas y conglomerados de color amarillo ocre a marrón,

en tobas cineritas y lutitas colores rojo a gris. El material estudiado posee un xilema secundario correspondiente a una conífera de la Familia Araucariaceae.

Herbst y Troncoso (2012) describen una megaflora por impresiones de frondas y hojas de la Formación Quebrada Doña Inés Chica en la región de Atacama. Por primera vez citan en el Triásico de Chile las fructificaciones *Matatiella* y *?Switzianthus*. De acuerdo a los caracteres foliares junto con los estudios sedimentológico, proponen un ambiente de clima subtropical estacional.

Espinoza et al. (2015) entregaron la primera edad a través de U-Pb circón de una toba para la Formación Agua Chica en la Quebrada Pan de Azúcar de 200.7 ± 2.8 Ma, interpretada como la edad de un evento piroclástico. La Formación Agua Chica sería más joven que la Formación Cifuncho, por lo que la facies continental alcanzaría el límite Triásico-Jurásico.

1.7 Patrimonio Parque Nacional Pan de Azúcar (PNPA)



Figura 1.3. Límites administrativos del Parque Nacional Pan de Azúcar (PNPA). Ubicación de los afloramientos fosilíferos de la Formación Agua Chica (fuera del límite este del PNPA).

El Parque Nacional Pan de Azúcar (PNPA) se ubica en el sector costero de la región de Antofagasta y región de Atacama, en la comuna de Taltal y Chañaral, respectivamente. Posee una superficie total de 43.754 hectáreas, de las cuales 11.790 se encuentran en la Región de Antofagasta y las 31.964 corresponden a la región de Atacama, las 110

hectáreas restantes, corresponden al sector insular, conformado por la isla Pan de Azúcar, los islotes Las Chatas y rocas emergentes denominadas Las Mariposas (CONAF, 2018).

Este parque es conocido por su flora y fauna endémica, la cual es muy rica y diversa. Es posible encontrar más de 18 especies de cactáceas, entre ellas destacan: *Copiapoa grandiflora*, *Copiapoa columna-alba*, *Copiapoa longistaminea* y *Copiapoa lauii*, también es posible encontrar animales marinos como chungungos (nutrias de mar) y lobo de un pelo. Entre las aves costeras es posible observar, gaviotas, gaviotines, pelícanos, chorlitos, pilpilenes, pingüino de Humboldt. Mientras que, en los sectores continentales, asociados a la vegetación se puede observar guanacos y zorros (Rundel *et al.*, 1996; CONAF, 2018).

El PNPA no solo cuenta con un ecosistema marino y terrestre, los cuales han sido objeto de estudio para investigadores tanto nacionales como internacionales, sino que cuenta con una geología privilegiada para poder entender los procesos geológicos que ocurrieron hace ~ 350 Ma, por lo que posee un gran valor docente y de investigación. A todo lo anterior, hay que sumar los yacimientos fosilíferos hallados en las últimas décadas. Una de ellas, es la Formación Agua Chica (presente en este estudio), que data del Triásico Superior, la cual contiene impresiones flora fósil, como pteridófitas (helechos), pteridospermas (helechos con semillas), cicadófitas y troncos asociados tentativamente a gimnospermas. Por otro lado, en la Formación Pan de Azúcar, que data del Jurásico Superior, cuenta con fósiles marinos del Hettangiano y Sinemuriano (Suárez *et al.*, 1985), como el primer ictosaurio encontrado en la provincia de Chañaral, además de diversos ammonites. Los afloramientos fosilíferos encontrados en la Formación Agua Chica, se ubica justo afuera del límite este del parque. Asimismo, los fósiles encontrados en la Formación Pan de Azúcar se encuentran también fuera de los límites administrativos del Parque Nacional Pan de Azúcar. Esta información entregaría un valor de patrimonio paleontológico a uno de los parques nacionales más visitado del norte de Chile, siendo un argumento para expandir los límites del parque y proteger este patrimonio paleontológico de Chile.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Flora triásica de Gondwana

Durante el Triásico, ocurrieron varios eventos biológicos y geológicos significativos. Existen dos fenómenos que son propios del Triásico: el inicio de la fragmentación del supercontinente Pangea, dividiéndose en Laurasia (Hemisferio Norte) y Gondwana (Hemisferio Sur) en el Triásico Medio, y la recuperación de la flora y fauna después de una de las extinciones más importante dentro de las cinco extinciones masivas registradas en la Tierra, la cual afectó tanto a las floras como a faunas marinas y terrestres. Si bien, la extinción tuvo lugar cerca del límite, había ciertos grupos que se extinguieron varios millones de años antes de que terminara el Pérmico, mientras que otros sobrevivieron hasta la base del Triásico. La proliferación de nuevas familias y géneros de helechos y gimnospermas alcanzaron su punto máximo en el Triásico Tardío, antes de otra crisis global al final del periodo (Anderson *et al.*, 1999; Willis y McElwain, 2002; Vajda y Bercovici, 2014). Durante el Triásico, el planeta se encontraba en una fase de efecto invernadero o *greenhouse*, caracterizada por la ausencia de hielo en los polos y elevados niveles atmosféricos de CO^2 (Schaller *et al.*, 2015; Foster *et al.*, 2017). Además, una revisión de la curva de nivel del mar del Triásico, muestra un extenso periodo (~80 Ma) de nivel ligeramente superior al nivel del mar actual (Haq, 2018). Por lo tanto, la disposición de las masas continentales coalescentes, junto con un elevado nivel del mar, provocó en el clima global, el desarrollo de una fuerte estacionalidad en las latitudes bajas (Parrish, 1993; Sellwood y Valdés, 2006; Holz, 2015).

La fragmentación de Pangea durante el Triásico Superior, segregó los hemisferios Norte y Sur, los cuales estuvieron divididos por el ancho océano Tethys. La amplia extensión latitudinal de los continentes por el Carniense, impuso un provincialismo floral significativo (Buratti y Cirilli, 2007). Spalletti *et al.* (1999, 2003) postulan que el dominio Triásico Gondwánico se componía de dos zonas: una Tropical y una Extratropical. Además, se reconocen dos subprovincias, basándose principalmente sobre diferencias palinológicas para el Triásico Medio-Tardío de Gondwana: las subprovincias de Ipswich (área Tropical) y Onslow (área Extratropical), con unas pocas palinofloras “mixtas” o

“intermedias” (Foster *et al.*, 1994). La subprovincia de Ipswich se desarrolló en el sur y este de Australia, la región de las Montañas Transantárticas, Sudáfrica y Argentina, con especies típicas de Gondwana. La Subprovincia de Onslow representa una mezcla de taxones gondwánicos y europeos, presentando, de manera general, una diversidad ligeramente superior, mientras que la Subprovincia de Ipswich, de menor diversidad, está dominada por Umkomasiales, representando comunidades vegetales de climas templados fríos y la palinoflora de Onslow refleja vegetación de climas cálidos templados (Césari y Colombi, 2013). Si bien, el esquema fitogeográfico tradicional para el Triásico Superior propuesto originalmente, limita la extensión más occidental de la flora de Onslow a África Oriental, mientras que, el oeste de Gondwana está dominado por palinofloras de “tipo Ipswich”, distribuyéndose desde unos 90° a 40°S, estudios de palinología en la Formación de Ischigualasto, Argentina, indican que la provincia de Onslow se extiende hasta el centro de Sudamérica en paleolatitudes de unos 45° a 20°S (Figura 2.1), lo que cambia sustancialmente el esquema fitogeográfico tradicional (Césari y Colombi, 2013).

Las floras del Triásico Tardío del supercontinente Gondwana se caracterizan por amplias similitudes de composición a nivel genérico y, en algunos casos, específicos (Retallack, 1987; Srivastava y Manik, 1991; Anderson *et al.*, 1999; Hill *et al.*, 1999; Artabe *et al.*, 2003; Escapa *et al.*, 2011). Este periodo fue testigo del clímax de la flora de Gondwana, una asociación florística que esencialmente había reemplazado a la flora de *Glossopteris* en diversidad y extensión geográfica en las latitudes medias y altas del Hemisferio Sur después de la extinción de fines del Pérmico (Kustatscher *et al.*, 2018; Mays y McLoughlin, 2019; Mays, 2020; Bodnar *et al.*, 2021).

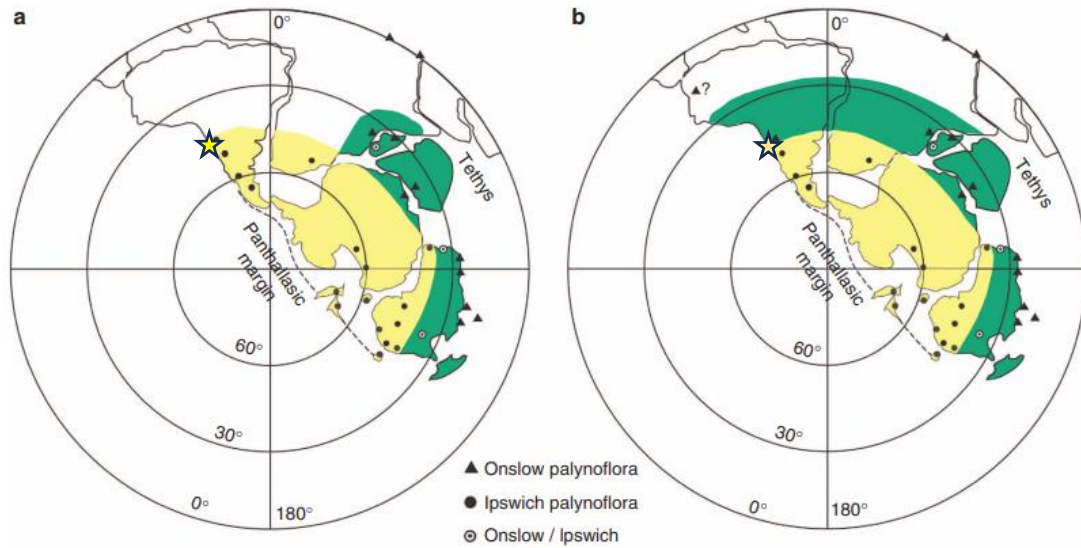


Figura 2.1. Distribución de microfloras de Onslow e Ipswich del Gondwana. (a) Distribución de palinofloras de Onslow e Ipswich sujeto a autores previos. (b) Fitogeografía basada en los nuevos datos de palinofloras para el área de Ischigualasto. La estrella indica la ubicación geográfica aproximada de la Formación Agua Chica. Modificado de Césari y Colombi (2013).

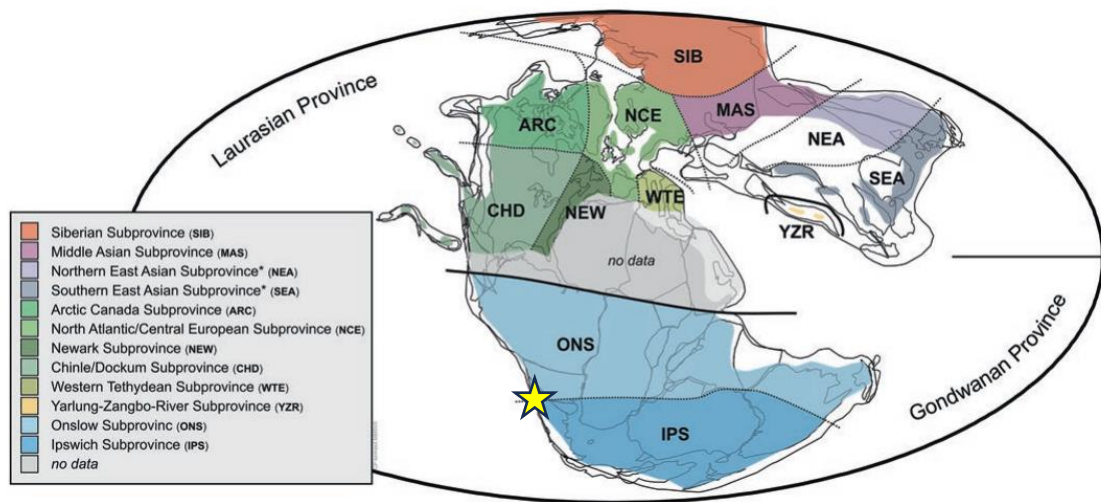


Figura 2.2. Mapa paleogeográfico que muestra la zonación floral en el Triásico Tardío. Distribución de la Subprovincia de Onslow y la Subprovincia de Ipswich basada en palinofloras. La estrella indica la ubicación geográfica aproximada de la Formación Agua Chica. Modificado de Kustatscher *et al.*, 2018.

El Reino Triásico Gondwánico se define por las “Floras de *Dicroidium*” (Artabe *et al.*, 2003), siendo las Umkomasiales (= *Corystopermales*) los principales componentes de la flora fósil de Gondwana. Asimismo, esta flora incluye taxones cosmopolitas como

Equisetales (*Equisetites*, *Neocalamites*), Lycopsidea (*Pleuromeia*); Osmundales (*Cladophlebis*), Peltaspermales (*Lepidopteris*, *Scytophyllum*), Bennettiales (*Pterophyllum*, *Anomozamites*, *Ctenis*, *Pseudoctenis*), Ginkgoales (*Ginkgoites*, *Baiera*, *Sphenobaiera*) y Voltziales (*Heidiphyllum*) (Retallack, 1977; Anderson y Anderson, 1983; Anderson *et al.*, 1999; Spalletti *et al.*, 1999; Artabe *et al.*, 2001a, 2001b; Zamuner *et al.*, 2001; Stipanovic y Archangelsky, 2002; Kustatscher *et al.*, 2018).

Las clases Lycopsidea y Esfenófitas pierden el predominio que tenían en el Paleozoico, desapareciendo las formas arbóreas y dominando las formas arbustivas como los géneros *Neocalamites* y *Equisetites* (Archangelsky, 1970). Según Kustatscher *et al.* (2018) durante el Carniense, las Esfenófitas son abundantes, sobre todo en facies de márgenes de lagos y humedales de llanuras de inundación. Los helechos (dominantemente miembros de Osmundaceae y Dipteridaceae) representan elementos que van desde escasos a moderadamente comunes en la vegetación del sotobosque del Carniense. Para el Noriense de Gondwana, la flora de *Dicroidium* alcanza su máxima diversificación (Spalletti *et al.*, 2003), mientras que otras Corystopermales y la mayoría de las plantas con semillas, pierden su dominio, se vuelven subordinadas, con excepción de *Yabeiella*, que persistió con abundancia relativa (Morel *et al.*, 2003). Durante el Rhaetiense, ocurre un declive de la flora de *Dicroidium*, comienzan a aparecer nuevas asociaciones florísticas y la presencia de Corystospermaceae decrece (Spalletti *et al.*, 2002).

La flora dominante del Triásico Tardío (e.g., *Dicroidium*, *Lepidopteris*, *Heidiphyllum*, *Linguifolium*, *Dejerseya*, *Yabeiella*) están ausentes en las floras del Jurásico Temprano, las cuales son reemplazadas por floras dominadas por Coníferas, tales como Araucarias y Cheirolepidaceas de hojas escamosas, Bennettiales, Caytoniales, Pentoxylales al inicio del Jurásico (Gould, 1975; Tidwell *et al.*, 1987; McLoughlin y Hill, 1996; Bromfield *et al.*, 2007; McLoughlin y Pott, 2009; Bomfleur *et al.*, 2011a; Pattemore, 2016b).

2.2 Flora triásica del norte de Chile

El registro de plantas fósiles del Triásico del norte de Chile, se restringe a las siguientes formaciones: Formación El Pular (Brüggen, 1942); Formación Sierra de Varas (Marinovic *et al.*, 1995); Formación Cifuncho (García, 1967); Formación Quebrada del Salitre (Naranjo y Puig, 1984); Formación La Ternera (Brüggen, 1918, 1950); Formación San Félix (Reutter, 1974), Formación Las Breas (Dediós, 1967; Emparan y Pineta, 1999) y Estratos El Mono (Suárez *et al.*, 1995).

La Formación Pular de edad Triásico Medio-Triásico Superior basada en registros de palinomorfos y flora fósil, perteneciente a Cycadales mediante *Pseudoctenis fissa* (Niemeyer *et al.*, 2008). Chong *et al.* (1997), reportaron otros taxones diagnósticos que concuerdan con la edad para la Fm. Pular: *Kurtziana cacheutensis*, *Dicroidium odontopteroides*, *Zuberiapapillata*, *Zuberia feistmantelli*, *Tranquiloxyton* sp., y *Heidiphyllum elongatum*.

La Formación Sierra de Varas de edad Triásico Medio-Triásico Superior contiene, dentro de los Equisetales, *Neocalamites* sp; en las Filicales, se han reportado Dipteridaceae; *Pterophyllum* para las Cycadeoidales; *Taeniopteris* para las Cycadales, y *Dicroidium* para las Corystospermales (Marinovic *et al.*, 1995; Contreras, 2014).

La Formación Cifuncho de edad Triásico Medio?-Triásico Superior registra fragmentos de esfenófitas, raíces de plantas y tallos (Suárez y Bell, 1994). Además, se identificó *Cladophlebis* sp., *Taeniopteris* sp., *Heidiphyllum*, *Pterophyllum* y maderas fósiles (Contreras *et al.*, 2013; Moisan, 2024).

La Formación Quebrada del Salitre de edad Triásico Superior con base en su contenido de fauna y flora fósil, y relaciones estratigráficas. Dentro del registro paleobotánico se encuentran Equisetales como *Neocalamites* cf. *carrerei*; Filicópsidas como *Dictyophyllum tenuifolium*, *Cladophlebis* cf. *mesozoica* y *Gleichenites cachivaritensis*; dentro de las Cycadeoidales, se han descrito dos ejemplares sin caracteres diagnósticos para ser incluidos en alguna especie, por lo que se le han denominado como *Pterophyllum* sp.A, *Pterophyllum* sp.B; para las Voltziales se ha reportado *Heidiphyllum* cf. *elongatum*; en las Ginkgoales se describen *Sphenobaiera* cf. *steinmannii*, *Sphenobaiera* cf. *schenkii* y

Ginkgoites; para las Coniferales están presentes *Linguifolium gracile* y *Lingofolium tenison-woodsii*; para los Petriellales se ha reportado cf. *Rochipteris* sp., y para las Corystospermales se encuentran bien representados los géneros *Dicroidium odontopteroides*, *D. lancifolium* y *Umkomasia* sp. (Herbst, 1998; Troncoso y Herbst, 1999; Herbst y Troncoso, 2012).

La Formación La Ternera del Triásico Superior, presenta una amplia diversidad de flora fósil, dentro de las Equisetales se han identificado especies como *Neocalamites carrerei*; para el caso de las Filicales los géneros como *Dictyophyllum tenuifolium*, *D. fuenzalidai*, *D. rothi*, *Goeppertella taverai*, *Todites chilensis*, *Todites* sp., *Cladophlebis mendozaensis*, *Gleichenites cachivaritensis*; para la Familia Asterothecaceae, se encuentran presentes en esta formación *Rienitsia ternerae*, *Asterotheca rigbyana*, *A. fuchsi*; para las Cycadeoidales *Pterophyllum azcaratei* y para las Cicadales, *Pseudoctenis longipinnata*, *P. harringtoniana*, *P. multilineata*, *P. megaspathulata*, *Kurtziana cacheutensis*, *K. brandmayri*, *K. paipotensis*, como *incertae sedis* dentro de este Orden Cycadales se tiene a *Taeniopteris vittata*, *T. densinervis*, *T. lutzae*, *T. magnifolia*, *T. plicatella*, *T. thomsoniana*, *T. troncosoi*, *T. wianamatae*, *Yabeiella brackebuschiana* y *Yabeiella mareyesiaca*. Dentro de las Gingkoales están presentes *Sphenobaiera bífida*, *S. argentinae*, *Ginkgoites dutoitii*, *G. waldeckensis*, ?*G. antartica* y *G. covacevicii*. Para las Coniferales existe registro de *Rissikia media*, *Linguifolium lillieanum*, *L. steinmanni*. Dentro de las Voltziales se encuentra *Heidiphyllum elongatum*. Para las Peltaspermales están presentes *Lepidopteris madagascariensis*, *L. stormbergensis*, *Dejerseya lobata*, *D. lunensis*, cf. *Dejerseya* sp. Las Corystospermales están bien representadas por *Dicroidium odontopteroides*, *D. lancifolium*, *D. hernandezii*, *Johnstonia dutoitii*, *Xylopteris argentina*, cf. *Zuberia* sp. Por último, dentro de las Petriellales, están presentes *Rochipteris cuneata*, *R. copiapiensis*, *R. chilensis* y *Rochipteris* sp. (Herbst *et al.*, 1998; Herbst, 2000; Herbst y Troncoso, 2000; Herbst y Troncoso, 2012; Artabe *et al.*, 2007; Herbst y Gnaedinger, 2002; Gnaedinger y Herbst, 2004; Troncoso y Herbst, 1999; Troncoso *et al.*, 2000; Gnaedinger y Herbst, 2001).

Los Estratos el Mono de edad Triásico Medio-Triásico Superior, se ha identificado la ocurrencia de *Dicroidium* sp. (Blanco, 1994). Suárez *et al.* (1995) mencionaron la

ocurrencia de plantas fósiles en el área de mina La Coipa y Quebrada La Pelada, sin descripción ni ilustración de ellas. Flores *et al.* (2023) presenta en el XVI Congreso Geológico Chileno flora fósil perteneciente a Equisetales como *Neocalamites* sp. y *Equisetites* sp.; en el Orden de las Osmundales a *Cladophlebis mesozoica*; dentro de las Corystospermales a *Dicroidium odontopteroides*, *D. dutoitii*, *Zuberia zuberi*; representando a las Cycadales a *Pseudecten multilineata* y dentro de las Bennettitales a *Pterophyllum* cf. *azcaratei*; perteneciente al Orden Coniferales a *Heidiphyllum elongatum*.

Respecto a la Formación San Félix de edad Triásico Medio-Triásico Superior, incluye flora fósil pertenecientes a Filicales como *Dictyophyllum* sp.; Marattiales como *Asterotheca menendezii*; del Orden Cycadeoidales representado por *Ptilophyllum* sp., Cycadales como *Yabeiella mareyesiaca*; dentro de las Voltziales se encuentra *Heidiphyllum elongatum* y en las Corystospermales se encuentran registrados *Dicroidium odontopteroides* y *Dicroidium lancifolium* (Mohr y Schöner, 1985; Troncoso *et al.*, 2000).

Para la Formación Las Breas (Triásico Medio-Triásico Superior), se ha descrito flora fósil pertenecientes a Filicales como *Goepfertella taverai*; a Cycadales como *Kurtziana cacheutensis*, *Taeniopteris anavalons*, *T. homerifolius*, *T. magnifolia*, *Taeniopteris* sp., dentro de las Voltziales se encuentra *Heidiphyllum elongatum*; en las Corystospermales está bien representada por *Dicroidium odontopteroides*, *D. lancifolium*, *D. argenteum*, *D. crassum*, *D. obtusifolium*, *Xylopteris argentina*, cf. *Zuberia* sp. (Herbst, 2000; Troncoso *et al.*, 2000; Gnaedinger y Herbst, 2001; Herbst y Gnaedinger, 2002; Gnaedinger y Herbst, 2004).

CAPÍTULO 3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

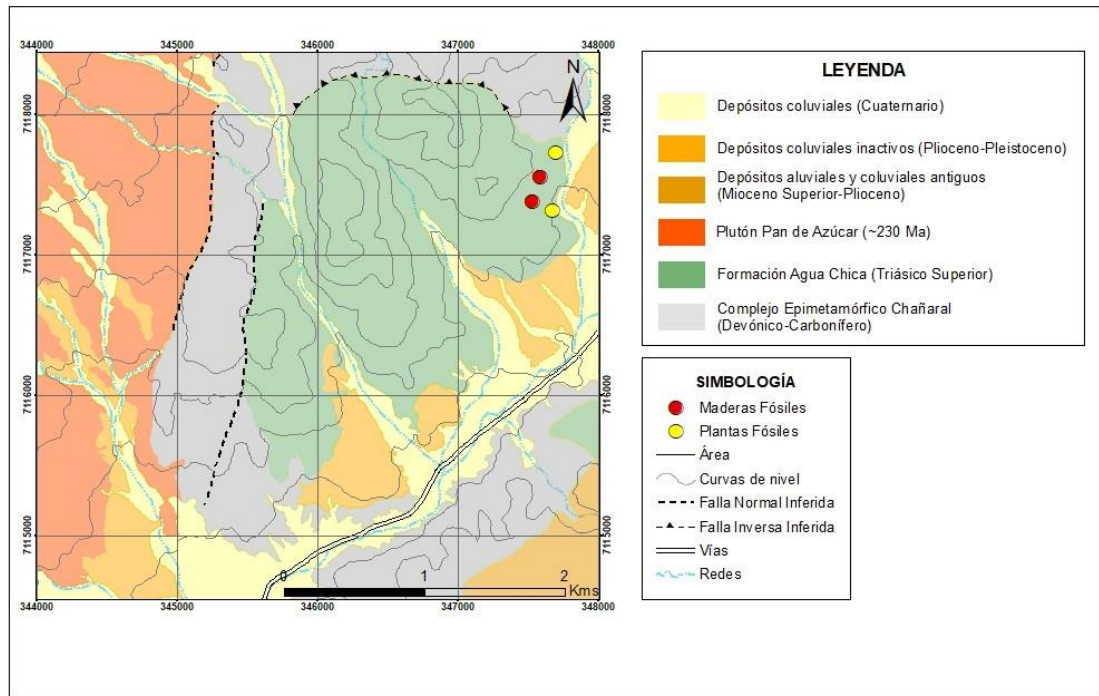


Figura 3.1. Mapa geológico de la parte este de la Formación Agua Chica. Se sitúan los afloramientos fosilíferos tanto de maderas (punto rojo) como de plantas fósiles (punto amarillo).

La Etapa Pre-Andina (Pérmico superior-Jurásico Inferior, Charrier *et al.*, 2007) ha sido caracterizada como una etapa estacionaria de Gondwana con una pausa del sistema de subducción (Mpodozis y Kay, 1990) y el desarrollo de un *rifting* continental con orientación NNW (Charrier *et al.*, 2007). Sin embargo, trabajos recientes en Chile y Argentina, han propuesto modelos alternativos que explican el desarrollo de la subducción durante el Triásico Tardío (Coloma *et al.*, 2013; Llambías *et al.*, 2017; Oliveros *et al.*, 2014).

Las rocas triásicas de las regiones de Antofagasta y Atacama que representan esta geodinámica muestran abundantes cambios laterales y verticales de facies, dentro de los cuales se han identificado distintos tipos de depósitos, en general, depósitos aluviales, fluviales, lacustres y marinos, localmente interestratificados con volcanitas (Bell y Suárez, 1991). Se ha interpretado que esta intensa actividad volcánica es contemporánea a estos depósitos relacionados a *rifting*, y en la Cordillera de la Costa, han sido representada por

la acumulación de potentes depósitos aluviales, asociados a volcanismo andesítico (formaciones Cifuncho y Agua Chica), y a su vez, sugiere la existencia de un episodio tectónico sincrónico (Suárez y Bell, 1985). La presencia generalizada de sistemas de deltas de abanico, junto con las abruptas discontinuidades de facies laterales y verticales, los ciclos deposicionales a gran escala y la abundancia de rocas volcánicas son indicativos de una sedimentación controlada por rift y asociada al desarrollo de un arco volcánico (Suárez y Bell, 1993; Uliana y Biddle, 1988).

3.1 Etapa Pre-Andina

El lapso temporal de esta etapa se sitúa entre las fases iniciales del magmatismo de Choiyoi a ~285 Ma (Sato *et al.*, 2015), y el inicio de la subducción andina en el límite Triásico-Jurásico (Charrier *et al.*, 2007). La interpretación clásica del magmatismo del Choiyoi y su entorno tectónico incluye el colapso orogénico que desencadenó una extensa anatexis de la corteza, seguida de un *rifting* continental, posiblemente la ruptura del slab y el fin de la subducción (Kleiman y Japas, 2009; Mpodozis y Ramos, 1989), un modelo que también ha sido propuesto para el norte de Chile y Perú (Miskovic y Schaltegger, 2009; Mpodozis y Kay, 1992). Sin embargo, estudios recientes han destacado la falta de firmas geoquímicas y petrológicas de dicha configuración tectónica en el registro geológico del Pérmico y Triásico (e.g., Coloma *et al.*, 2017; Del Rey *et al.*, 2016, 2019; Espinoza *et al.*, 2019; González *et al.*, 2018; Rocher *et al.*, 2015). Además, aun no existe un modelo para mecanismos geodinámicos que soporte que la subducción se habría reanudado a lo largo del margen en el Jurásico Temprano, esto puede ser debido a que las unidades litológicas de este lapso de tiempo no corresponden con lo que se esperaría para un escenario de inicio de subducción (Stern *et al.*, 2012; Whattam y Stern, 2009). En cuanto a reconstrucciones globales recientes del movimiento de las placas que remontan desde el Devónico, sugieren que para el suroeste de Gondwana habría sido un margen convergente desde el Carbonífero hasta el Jurásico, y que habría mantenido este carácter tras la fragmentación del supercontinente (Müller *et al.*, 2016; Riel *et al.*, 2018; Young *et al.*, 2019).

Las rocas piroclásticas y efusivas del Pérmico están distribuidas en la Cordillera Frontal y Cordillera de Domeyko entre los 24° y 30°S, junto con complejos plutónicos

cuya composición va desde intermedia a ácida, estas unidades paleozoicas son las más jóvenes que afloran. Entre las unidades volcánicas, se encuentran las formaciones La Tabla y Guanaco Sonso, éstas se extienden más allá de los límites del Pérmico. Las rocas intrusivas también aparecen en esta zona y tienen una edad que va desde el Cisuraliense al Lopingiense, y espacialmente se relacionan con las rocas volcánicas coetáneas (Brown, 1991; Ortiz y Merino, 2015; Salazar y Coloma, 2016). El magmatismo del Triásico constituye la mayor parte del volumen de la parte oriental de la Cordillera Frontal, y la unidad más representativa es el Complejo Plutónico de Chollay. Estos complejos están cubiertos por rocas del Pérmico y del Triásico Superior, incluyendo rocas piroclásticas, hipabisales y efusivas de edades ~ 233-219 Ma (Maksaev *et al.*, 2014; Ortiz y Merino, 2015). Los plutones del Triásico Superior también se encuentran en la Cordillera Frontal, aunque están mucho más restringidos que los intrusivos antiguos. Estas unidades están compuestas por monzogranito y sienogranito de ~ 225-220 Ma de edad (Nasi *et al.*, 1990), y pequeños plutones de composición intermedia a ácida, con cordierita de unos 217-214 Ma de edad (Hervé *et al.*, 2014; Nasi *et al.*, 1990). Las rocas volcánicas del Triásico Inferior-Medio se ubican en el flanco este de la Cordillera de Domeyko, cercanas al Salar de Atacama (~ 23°40'S, 68°W) (Breitkreuz *et al.*, 1989). Las unidades volcánicas más jóvenes del Triásico Superior corresponden a secuencias de lavas básicas a intermedias y rocas volcanosedimentarias de edad Noriense-Rhaetiense (Cordillera de Domeyko) o Carniense-Noriense (Cordillera Frontal), las cuales fueron depositadas sobre las rocas plutónicas del Paleozoico tardío al Triásico Inferior-Medio (Martínez *et al.*, 2015; Salazar *et al.*, 2013).

A lo largo de la Cordillera de la Costa, alrededor de 25°30'S-26°S, existen dos complejos plutónicos de edad Pérmica (Cifuncho y Pan de Azúcar), los cuales están compuestos por intrusivos granodioríticos y sienograníticos, y hasta ahora, son las únicas rocas documentadas del Paleozoico tardío. Además, se reconocen algunos afloramientos de plutones escasos de edad Triásico Superior a lo largo de la Cordillera de la Costa, asociados, en algunos casos, a fallas normales synplutónicas (Grocott *et al.*, 2009). Las unidades volcánicas y volcanosedimentarias son menos comunes, y algunos afloramientos son limitados de edad Cisuraliense a ~ 28°S y de edad Triásico Superior a ~ 28°S y ~

25°30'S (Formaciones Cifuncho y Agua Chica; Contreras *et al.*, 2013; Welkner *et al.*, 2006).

Respecto al estilo estructural durante la etapa Pre-Andina habría sido predominantemente extensional, desarrollando grandes calderas volcánicas que habrían sido controladas por fallas normales y abundantes enjambres de diques durante el magmatismo Pérmico-Triásico (Giambiagi y Martínez, 2008; González y *et al.*, 2018; Llambías y Sato, 1995; Salazar y Coloma, 2016). Además, la Fase Orogénica Huárpica, que separa el magmatismo de Choiyoi de las rocas del Triásico Medio, se interpreta como un evento extensional (Sato *et al.*, 2015). El desarrollo de cuencas de rift con orientación NW está bien documentado para el Triásico, tanto en el antepaís continental (cuencas Ichigualasto y Cuyo) como en el margen (cuencas El Profeta, La Ternera y San Félix) (Charrier *et al.*, 2007; Giambiagi *et al.*, 2008; Salazar *et al.*, 2019; Espinoza *et al.*, 2019).

A pesar de que la etapa Pre-Andina ha sido caracterizada como una etapa estacionaria de Gondwana con un cese del sistema de subducción (Mpodozis y Kay, 1990) y el desarrollo de un rifting continental NNW (Charrier *et al.*, 2007), trabajos previos en Chile y Argentina, han propuesto modelos alternativos que conducen al desarrollo de la subducción durante el Triásico Tardío (Coloma *et al.*, 2013; Llambías *et al.*, 2007; Oliveros *et al.*, 2014).

Oliveros *et al.* (2020) analizaron muestras de rocas volcánicas y plutónicas de edades entre 330-150 Ma, en donde se encuentran rasgos típicos de magmatismo de arco en la mayoría de las muestras. Las rocas magmáticas del Pre-Andino poseen una clara señal calcoalcalina, un enriquecimiento de LILE (*Large Ion Lithophile Elements*) vs HFSE (*High Field Strength Elements*) y gargantas de Nb-Ta, todos estos análisis geoquímicos implican magmas formados en subducción. Además, el magmatismo no es bimodal para esta etapa como sugerían los modelos antiguos, es decir, que había un ambiente de rift continental, sino que el magmatismo fue continuo, sugiriendo subducción continua desde el Ciclo Gondwánico hasta el Andino Temprano, y a su vez, este magmatismo estuvo acompañado por una tectónica predominantemente extensional generalizada en el margen continental.

3.2 Entorno geológico local

En el norte de Chile (24.5°-26°S) aparecen dos depocentros del Triásico Superior-Jurásico Inferior: la cuenca de Cifuncho en la Cordillera de la Costa y la cuenca de Profeta en la Precordillera (Espinoza *et al.*, 2015). Dentro de las unidades que corresponden a la cuenca de Cifuncho a lo largo de la Cordillera de la Costa se encuentran la Formación Cifuncho (García, 1967), Formación Agua Chica (Mercado, 1980), Formación Pan de Azúcar (García, 1967) y la Formación Posada de los Hidalgos (García, 1967; emend. Naranjo y Puig, 1984). La Formación Cifuncho, es la unidad más antigua y se superpone en disconformidad sobre el Basamento Metasedimentario. Consiste en una secuencia sedimentaria depositada en un ambiente continental. Hacia el sur, esta unidad tiene una relación de engrane lateral con la formación volcanoclástica Agua Chica. La Formación Pan de Azúcar de origen subacuático litoral, cubre a la Formación Cifuncho, representando un ciclo de transgresión-regresión marina ocurrida durante el Jurásico Temprano. Por último, la Formación Posada de los Hidalgos, tiene relación de engrane lateral con el miembro superior de la Formación Pan de Azúcar, pero de manera local, sobreyace esta formación en discordancia de erosión (Contreras, 2018).

Formación Cifuncho

Esta formación fue definida por García (1967) y la mayoría de sus afloramientos se ubican al Sur de la Falla Taltal y al Oeste del Sistema de Falla Atacama (SFA), los cuales ocupan un total de 35 km². Se han reconocido tres litofacies (Contreras *et al.*, 2013). La litofacies presente en la localidad tipo es la que tiene mayor distribución y está compuesta por conglomerados y areniscas guijarrosas con formación de paleosuelos y abundantes paleocanales. Cerca de la mina Mantos Overos, hay ortoconglomerados polimícticos, tobas y arenisca tobáceas, con estratos que van desde 0.1 a 1.5 de espesor. La litofacies más restringida, está compuesta por intercalaciones de areniscas de color gris-amarillento, las cuales están finamente estratificadas, con capas de calizas silicificadas, y algunas contienen ostrácodos (Suárez *et al.*, 1985). Espinoza *et al.* (2015) entregan una edad de 208.9 ± 2.1 Ma obtenida de una brecha tobácea, para la Formación Cifuncho, lo que es concordante con las edades obtenidas por Contreras *et al.* (2013) a través de datación U-Pb en circón en una toba cerca de la mina Mantos Overos, siendo esta edad de 210.1 ± 4

Ma, por lo que, la parte principal de esta formación, se puede asignar al Noriense. La flora fósil registrada para esta formación es común en las asociaciones paleoflorísticas del Triásico Tardío (Herbst *et al.*, 1998). Estas rocas han sido interpretadas como depósitos fluviales de la parte cercana a ríos trenzados (Suárez *et al.*, 1985).

Formación Agua Chica

Esta formación fue definida por Mercado (1980), ubicada en el límite este del Parque Nacional Pan de Azúcar (Fig. 1.2), en el sector de confluencia de las quebradas Pan de Azúcar y Las Chilcas. Sus afloramientos alcanzan los 26 km². Dentro de su litología presenta una intercalación entre brechas piroclásticas y, en su base, conglomerados sedimentarios de color rojizo oscuro, de muy mala selección, cuyos clastos están constituidos de cuarcitas y filitas del Basamento Metasedimentario, y alcanzan un tamaño de hasta 20 cm de diámetro. Sobre la base, se disponen tobas de color amarillentas y conglomerados volcánicos de color amarillentos, verdosos y morados, de clastos andesíticos de hasta 30 cm de diámetro y matriz tobácea (Mercado, 1980), las cuales han sido interpretadas como depósitos piroclásticos de *block and ash*, es decir, depósitos producidos por el colapso de un domo (Contreras *et al.*, 2013). Los conglomerados y brechas son interpretados como flujo de detritos, probablemente formados en los flancos de un volcán (Suárez y Bell, 1985), ambiente que se complementa con la efusión de lavas andesíticas, las que se ubican hacia el techo de la sucesión. Espinoza *et al.* (2015) entregan la primera edad para la Formación Agua Chica en la Quebrada Pan de Azúcar que data de ~ 200 Ma, edad arrojada por una toba, esta unidad sería más joven que la Formación Cifuncho, y la facies continental alcanzaría el límite Triásico-Jurásico.

Formación Pan de Azúcar

Esta formación fue definida por García (1967), y sus afloramientos alcanzaría ~80 km². La Formación Pan de Azúcar está conformada por una secuencia de areniscas calcáreas de color amarillo-pardo de tamaño que van desde grano fino a medio con calcilutitas. Las areniscas presentan estructuras sedimentarias como ondulitas de olas, calcos de carga, trazas fósiles probablemente y bioturbación localmente. Las calcilutitas contienen fósiles de gastrópodos, bivalvos, amonites y restos de peces. Hacia la base, presenta lentes de conglomerados y areniscas guijarrosas con estructuras de paleocanales y en otras zonas,

presenta intercalaciones de tobas cristalinas y vítreas en partes soldadas, y areniscas tobáceas de color verde-amarillento y de tamaño que van desde grano fino a grueso (Contreras, 2018). Los fósiles que contiene esta formación son de gran valor geocronológico, siendo los géneros de amonites *Schlotheima*, *Arnioceras*, *Coroniceras* y *Gleviceras* característicos del lapso Hettangiense tardío-Sinemuriense (Rubilar, 2012a, b). Por otro lado, existe una datación en U-Pb en circón de ~ 212.9 Ma, obtenida en una toba vítrea (Contreras *et al.*, 2013). Estas edades obtenidas de los fósiles y dataciones son asignables al rango Triásico Superior-Jurásico Inferior. Las rocas presentes en la Formación Pan de Azúcar, son interpretadas como una transgresión marina que se desarrolló diacrónicamente entre el Noriense y el Hettangiense-Sinemuriense, de origen marino somero (Contreras *et al.*, 2013).

Formación Posada de los Hidalgo

De manera inicial, fue denominada como Formación Posada de los Tres Hidalgo (García, 1967) la cual fue emendada como Formación Posada de los Hidalgo (Naranjo y Puig, 1984). Ocupa una superficie ~26 km². Está formada por un Miembro Inferior compuesto por intercalaciones de capas de brechas mal estratificadas y escasas lavas. El Miembro Superior está compuesto por una sucesión de areniscas tobáceas, calcáreas localmente, flujos de lavas, margas y calizas que contienen fósiles marinos (Contreras, 2018). La edad de la Formación Posada de los Hidalgo ha sido determinada a partir de su contenido fósil en el miembro inferior (Covacevich, 1982), y en el miembro superior (Rubilar, 2012c), los cuales indican que la depositación de esta formación ocurrió en el Sinemuriense temprano (von Hillebrandt, 2000; Rubilar, 2012c). Según Contreras (2018), la parte inferior, constituida por depósitos de flujo de detritos y remociones en masa y piroclásticos del tipo *block and ash*, se interpreta como depositada en un ambiente volcánico, probablemente en un delta o abanico aluvial cercano al mar. La sección superior se habría acumulado en un ambiente marino, probablemente somero, con centros volcánicos andesíticos cercanos.

CAPÍTULO 4. SISTEMÁTICA

4.1 Paleobotánica

División Pteridophyta

Clase Pteridopsida

Orden Marattiales

Familia Asterothecaceae

Género *Asterotheca* Presl 1845

Asterotheca cf. *fuchsi* (Zeiller) R. Herbst 1998 (Figura 4.1 A)

Material estudiado: UDA-Pb-70b; Uda-Pb-74a

Descripción: Porción de pinna incompleta y aislada, por lo que la forma y el tamaño son desconocidos. La pinna estéril más completa mide 6.34 cm de largo y 2.92 cm de ancho; raquis 2.6 mm de ancho. Pínulas pecopteroídeas, ligeramente falcadas, ápice redondeado, margen entero, de 1.5 cm de largo y 0.78 cm de ancho, contiguas, insertas por toda la base con un ángulo de 75°, La vena media no es fácil de observar, pero presenta venas secundarias simples en la parte apical, mientras que las primeras venas basales presentan dicotomía una vez, con 10-12 venas por hemilámina. Las pínulas de disponen de manera opuestas.

Comentarios: Esta especie fue descrita como *Pecopteris fuchsi* por Zeiller (1875). Luego, fue redescrita por Solms-Laubach (1899), con materiales coleccionados por Steimann, quien detectó fructificaciones de *Asterotheca*, por lo que combinó sus ejemplares como *Pecopteris (Asterotheca) fuchsi*, aunque la diagnosis válida es la de Zeiller (1875). Posteriormente, varios autores comenzaron a utilizar el nombre de la especie, tanto la descrita por Zeiller como la de Solms-Laubach, para varias especies distintas entre sí. Frenguelli (1943) con materiales parecidos a los descritos por Solms-Laubach (1899), designa la especie como *Asterotheca truempyi*, mientras que Herbst (1977a), también con materiales parecidos, los incorpora en una especie diferente, *Asterotheca rigbyana*.

Los caracteres del material descrito permiten asignarlo a la especie *Asterotheca fuchsi* (Zeiller) y se ajusta a los descrito por Herbst *et al.* (1998) para la flora fósil de La Ternera, con base en el tamaño y forma de las pínulas, además del tipo y densidad de venación. Se diferencia de otras especies de *Asterotheca*, por ejemplo, de *Asterotheca franssinetti* Herbst y Troncoso (2005), por el ángulo en el cual se disponen las pínulas respecto al raquis; de *A. truempyi*, debido a que ésta presenta pínulas más pequeñas.

A pesar de ser un material estéril y no contar con sinangios, razón por la cual se describe con nomenclatura cf., se diferencia de otro género como *Cladophlebis*, ya que el ejemplar acá descrito, presenta pínulas pecopterídeas, ápice redondeado y no presenta una base decurrente.

Asterotheca fuchsi, ha sido reconocida para el Triásico de Chile, Argentina y Australia.

Asterotheca rigbyana Herbst 1977 (Figura 4.1 B)

Material estudiado: UDA-Pb-423; UDA-Pb-424a; UDA-Pb-425; UDA-Pb-426a; UDA-Pb-467.

Descripción: Porción de pinna incompleta y aisladas, por lo que la forma y el tamaño son desconocidos. Pinnas estériles, donde el ejemplar más completo mide 2.94 cm de largo y 1.42 cm de ancho; raquis aproximadamente 1.2 mm de ancho. Pínulas pecopteróideas, ligeramente falcadas, ápice redondeado, margen entero, de 0.65-0.68 cm de largo y 0.3 cm de ancho, contiguas, insertas por toda la base con un ángulo entre 75°- 80°, manteniéndose una relación de largo/ancho de 2:1. La vena media no es fácil de observar, pero presenta venas secundarias simples las cuales se ramifican en un ángulo de 45° hacia los bordes, con 6-8 venas por hemilámina. Las pínulas se disponen de manera subopuestas a opuestas.

Comentarios: *Asterotheca rigbyana* fue descrita por Herbst (1977) con la finalidad de evitar confusiones con los materiales descritos por Solms-Laubach (1899) y Zeiller (1875), como se describe en la especie anterior, los cuales son formas muy distintas entre sí.

Los caracteres morfológicos descritos, coinciden con los ejemplares en Herbst (1977a) para la Formación El Tranquilo y Herbst *et al.* (1998) para la Formación La Ternera, con base en el tamaño, forma pecopterídeas de las pínulas y tipo de venación (simples y casi rectas). Se diferencia de otras especies de *Asterotheca*, por ejemplo, de *A. fuchsi* debido a que esta última presenta dicotomía en las venas laterales y las pínulas se insertan con un ángulo menor; también se diferencia de *A. truempyi*, ya que esta última, es de menor tamaño. Los ejemplares aquí descritos, al ser un material estéril y no contar con sinangios, es muy difícil poder diferenciar entre especies de *Asterotheca*, sobre todo cuando se cuenta con pocos elementos morfológicos. También es difícil diferenciar con otro género, por ejemplo, con *Cladophlebis*, pero como se menciona anteriormente, la única forma de diferenciar en materiales estériles, es a través de su morfología externa, y se diferencian en que este género presenta una base decurrente, las pínulas son de forma cladophleboides, por lo general con un ápice más agudo, y un tipo de venación distinto a las de *Asterotheca*. Importante mencionar que cuando se cuenta con sinangios, se puede asignar a una especie en específico, y permanece válida la especie *Pecopteris fuchsi*, siempre y cuando correspondan con los materiales estériles.

Esta especie ha sido reconocida en la Formación El Tranquilo, Provincia Santa Cruz, Formación Paso Flores, Neuquén (Morel *et al.* 2000) y Formación Cañadón Largo (Herbst 1977, 1988; Morel *et al.*, 2000), en Argentina y en la Formación La Ternera, Provincia de Copiapó (Herbst *et al.*, 1998) y en la región del Biobío, en la Formación Santa Juana (Leppe *et al.* 2006). La edad para esta especie es Triásico Tardío.

Orden Osmundales

Familia Osmundaceae Martinov 1820

Género *Cladophlebis* Brogniart 1849

Cladophlebis mesozoica (Kurtz) Frenguelli 1947 (Figura 4.1 C y D)

Material estudiado: UDA-Pb-415; UDA-Pb-427

Descripción: Hojas de forma y tamaño desconocidos. Fragmentos de pinnas estériles entre 4-7.5 cm de largo y 2.3-4.5 cm de ancho; raquis de 0.12-0.32 mm de ancho. Pínulas con margen enteros o lisos a suavemente ondulados, falcadas, ápice agudo, de unos 1.23-2.52 cm de largo y 0.5-1.1 cm de ancho, contiguas entre sí, dispuestas entre 60°-70°, insertas por toda la base, ligeramente decurrente. Vena media conspicua, llegando casi hasta el ápice, las venas laterales presentan dicotomía. Las pínulas se disponen de manera subopuestas a opuestas.

Comentarios: El género *Cladophlebis* fue descrito por primera vez por Brogniart (1849), y se caracteriza por una gran variabilidad de caracteres morfológicos y una distribución mundial desde el Paleozoico hasta el Mesozoico (Sahoo y Goswami, 2019). Las frondas son bipinnadas con pinnas alternas unidas en un ángulo de ~70°. Las frondes estériles tienen pínulas lanceoladas de hasta varios milímetros de longitud y pueden estar unidas al raquis de forma opuesta o subopuesta, las pínulas pueden estar separadas hasta la base, ampliamente unidas y diversamente decurrentes en la base, además, tienen formas variadas: alargadas, oblongas, falcadas, lanceoladas, y los márgenes de las pínulas pueden ser enteros, dentados, lobulados, crenados, ondulados o serrados (Harris, 1961; Bodor y Barbacka, 2008; Anderson y Anderson, 2008; Taylor *et al.*, 2009). El género *Cladophlebis* tiene numerosas especies que se distinguen por sus diferencias morfológicas, basándose en el tipo de venación y las formas de las pínulas. Las características morfológicas acá descritas coinciden para este género, y presenta caracteres diagnósticos de *Cladophlebis mesozoica*, como el tipo de venación dicotómica, morfología de la pínula (márgenes lisos o suavemente ondulados), ápice agudo y ancho de raquis. Si bien, es un material estéril, presenta varios caracteres morfológicos que permiten asignarlo a esta especie. Se diferencia de otras especies de *Cladophlebis*, por ejemplo, de *C. mendozaensis* ya que esta

última presenta una doble dicotomía en la venación secundaria y presenta una notoria crenación en los márgenes de las pínulas. También se diferencia de *C. kurtzi* debido principalmente en el tamaño, esta última es de menor tamaño, ya que las otras características son muy similares, por lo que Herbst (1988) habría unificado esta especie con *C. kurtzi*, sosteniendo que ambas serían porciones más o menos desarrolladas de una fronda (Herbst y Troncoso, 2012). Asimismo, se puede diferenciar de otros géneros, como *Asterothea*, ya que esta última presenta pínulas pecopterídeas, ápice redondeado, presenta menos densidad de venación, márgenes rectos y no presenta una base decurrente.

Esta especie ha sido descrita para el Triásico de Chile, en la Formación Panguipulli (Herbst *et al.*, 2005) y Formación Quebrada del Salitre (Herbst y Troncoso, 2012) y es más amplia en Argentina, donde está presente en la Formación Potrerillos, Formación Cacheuta, Formación Cañadón Largo, Formación Los Rastros, Formación Laguna Colorada y Formación Agua de los Pajaritos (Brea, 2000; Zamuner *et al.*, 2001; Artabe *et al.*, 2007b).

***Cladophlebis* sp.** (Figura 4.1 E)

Material estudiado: UDA-Pb-81a; UDA-Pb-81b; UDA-Pb-91a; UDA-Pb-446B; UDA-Pb-447; UDA-Pb-449a; UDA-Pb-454a; UDA-Pb-454b; UDA-Pb-474a

Descripción: Hojas de forma y tamaño desconocidos. La fronda más completa mide 11 cm de largo y 9.4 cm de ancho. Fragmentos de pinnas estériles entre 3.5-9.5 cm de largo y 1.7 cm de ancho; raquis de 0.9-2 mm de ancho. Pínulas con margen enteros o lisos a suavemente ondulados, falcadas, ápice obtuso y redondeado, de unos 1-1.2 cm de largo y 0.28-0.3 cm de ancho, separadas unos 0,17 cm entre sí a contiguas, dispuestas entre 55-60°, insertas por toda la base, ligeramente ensanchada y decurrente. Vena media conspicua, las venas presenta dicotomía típica de *Cladophlebis*. Las pínulas se disponen de manera subopuestas a opuestas.

Comentarios: Las características morfológicas de los ejemplares acá descritos, coinciden con la diagnosis anterior para este género, con base en la forma de las pínulas, tipo de venación, la base levemente decurrente, pero al ser un material fragmentario y

estéril, no se puede asignar con seguridad a alguna especie conocida. Presenta ciertas similitudes con *Cladophlebis kurtzi* ya que el tipo de venación es doblemente dicotomizada, pero se diferencia en que *C. kurtzi* presenta bordes de sus pínulas claramente crenadas o lobuladas, mientras que la especie acá descrita, presenta bordes más bien lisos a suavemente ondulados, además, presenta un ancho menor. También se asemeja a *Cladophlebis mesozoica*, debido al tipo de venación, pínulas falcadas y sus márgenes, es decir, enteros y lisos o suavemente ondulados, pero se diferencian en que *C. mesozoica* presenta pínulas de mayor tamaño y el ápice es agudo, mientras que la especie acá descrita presenta un ápice más redondeado. Se sugiere una nomenclatura sp. o abierta ya que hasta el momento no se ha encontrado alguna especie similar con estas características, además, al ser un material fragmentario y estéril, no se puede asignar con seguridad a alguna especie conocida para este género.

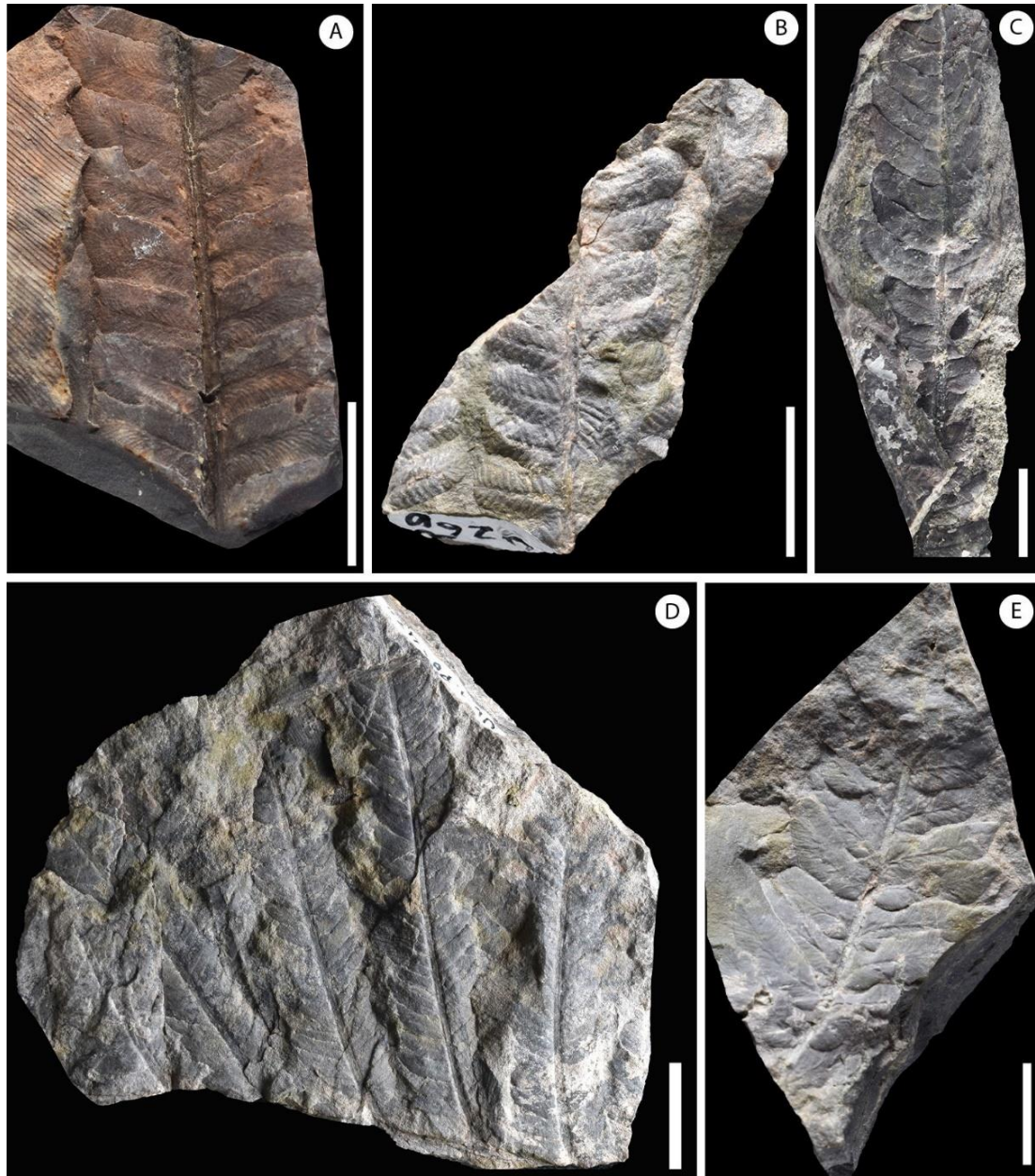


Figura 4.1. A. *Asterotheca fucshi* (Escala =1cm); B. *Asterotheca rigbyana* (Escala=1cm); C y D. *Cladophlebis mesozoica* (Escala=1cm y 2 cm); E. *Cladophlebis* sp. (Escala=1cm).

Orden Filicales
Familia Dipteridaceae
Género *Dictyophyllum* (Lindley y Hutton 1834) Webb 1982

Dictyophyllum* cf. *tenuifolium Bonetti y Herbst 1964 (Figura 4.2 A)

Material estudiado: UDA-Pb-409a; UDA-Pb-400a; UDA-Pb-433-3; UDA-Pb-445a,b-1; UDA-Pb-452b; UDA-Pb-464a,b, UDA-Pb-422; UDA-Pb-452b; UDA-Pb-482b.

Descripción: Fragmentos de hojas aisladas, por lo que la forma (margen y ápice) y el tamaño son desconocidos. Estos fragmentos miden 2.5-6 cm de largo y 1.5-2.8 cm de ancho. Se observa unas pínulas formando un margen lobulado a dentado. La venación media de la pínula es fuerte, de la cual emergen venas secundarias con ángulos agudos (65-90°), la cual se dicotomiza de manera abierta en horquillas péndulas hacia el exterior, formando una red de areolas poligonales y se dispone de manera subopuesta, y la separación entre estas venas es de 1.5-2 cm. La venación terciaria emerge en ángulos menores, formando areolas hexa y heptagonales. Las areolas de primer miden entre 5-6 mm de diámetro y las de segundo orden miden 1-1.2 mm de diámetro.

Comentarios: El nombre *Dictyophyllum* fue establecido por Lindley y Hutton (1834, p.45) para “dudosas hojas dicotiledóneas comúnmente de estructura reticulada”, cuyos caracteres diagnósticos corresponden a frondas pseudo-palmadas con pinnas divididas de varias formas profunda o completamente divididas (no dispuestas en espiral en el raquis principal), con segmentos primarios lanceolados u oblanceolados. Venas primarias y secundarias simples, y una red poligonal o areolas formadas entre venas secundarias y terciarias irregularmente poligonales, nunca ortogonales regulares (Webb, 1982; Anderson y Anderson, 2008; Choo y Escapa, 2018). Herbst (1979) señaló que *D. tenuifolium* integra un grupo de especies gondwánicas similares entre sí, que incluye *D. bremerense*, *D. davidi*, *D. ellebergi*, y también a *D. acutilobum*, pero se diferencian por algunos caracteres menores, como el tamaño, la profundidad de los lóbulos de las pínulas y por la distancia entre las venas laterales.

El material, al ser fragmentario, y no conocer la forma de los márgenes y ápices, no se puede afirmar con seguridad que pertenece a esta especie, aunque, existen otros caracteres, como la disposición de las venas secundarias y el tamaño de las areolas que forman las venas de mayor orden, las que permiten asignarlas tentativamente a *D. tenuifolium*.

Esta especie ha sido reconocida, en Chile, en la Formación Quebrada El Salitre (Herbst y Troncoso, 2012), Formación La Ternera (Herbst *et al.* 1998), Cerro Calquinhue y Tanahuillín en la región del Biobío (Leppe, 2005). Mientras que, para Argentina, ha sido hallada en la Formación Barreal (Stipanovic y Menéndez, 1949) y Formación Paso Flores (Bonetti y Herbst, 1964). Esta especie es típica para el Triásico Superior en Argentina y Chile.

***Dictyophyllum* sp.** (Figura 4.2 B)

Material estudiado: UDA-Pb-452a; UDA-Pb-466-1; UDA-Pb-79a,b.

Descripción: Fragmentos de hojas de forma lobulada, con 3 a 4 pínulas al lado izquierdo del raquis. La porción de fronda más completa mide 7.6 cm de largo y 1.5 cm de ancho. El raquis mide 0.65 cm de ancho, estriado longitudinalmente. Las pínulas miden entre 0.9 a 1.15 cm de largo y hasta 0.97 cm de ancho, las cuales son coalescentes. La vena media o de primer orden de las pinnas no se observa debido a la preservación. Las venas de segundo orden son reticuladas, llegando hasta el borde de la lámina. Las venas terciarias conforman una reticulación en areolas penta y hexagonales.

Comentarios: La forma lobulada coincide con *Dictyophyllum* (*Thaumatopteris*) *rothi* descrita por Herbst (1992; 2000), sin embargo, difieren en el ancho del raquis, siendo ésta mucho más ancha. Respecto al tipo de venación, si bien es reticulada, la forma en las cuales emergen las venas secundarias es distinta. Las venas de mayor orden coinciden al ser penta y hexagonales. Por esta razón, se ha sugerido una nomenclatura abierta, ya que los caracteres morfológicos no coinciden con exactitud con las especies conocidas para el género *Dictyophyllum*.

División Pteridospermatophyta

Clase Pteridospermopsida

Orden Corystospermales

Familia Corystospermaceae

Género *Dicroidium* Gothan 1912 emend. Townrow 1957

Dicroidium cf. lancifolium (Morris) Gothan 1912 (Figura 4.2 C)

Material estudiado: UDA-Pb-490c.

Descripción: Fragmento de 6.33 cm de largo y 3.68 cm de ancho. Raquis bifurcado de 0.6 cm de ancho. Las pínulas miden 3 cm de largo y 1.5 cm de ancho, tiene una forma lanceolada, insertas por toda la base en un ángulo de ~ 40°, con márgenes lisos, más largas que anchas. La venación es aletopteroide con una nervadura media poco diferenciada.

Comentarios: Dentro de los géneros en la familia Corystospermaceae, *Dicroidium* es el más diverso y ampliamente distribuido en el Triásico de Gondwana, por lo que existen varios criterios taxonómicos (Retallack, 1977; Petriella, 1979; Anderson y Anderson, 1983; Gnaedinger y Herbst, 1998a, 2001; entre otros). Estos tipos foliares se caracterizan por ser monopinnados, con pinnas de base ancha, variando en morfología desde semi-orbiculares a ampliamente triangulares, a rectangulares alargadas o ligeramente ahusadas, con ápice redondeado o ampliamente obtuso; las pinnas alargadas tienen una vena media y una venación aletopteroide; las pinnas cortas y semicirculares tienen venación odontopteroide (Bodnar, 2010). Gothan (1912) distinguió dos especies entre estas morfologías: *D. lancifolium* y *D. odontopteroides*, aunque Anderson y Anderson (1983) consideran que es más acertado asignar a *D. lancifolium* las pinnas de forma más alargadas.

La descripción anterior coincide con el estudiado para la Formación Agua Chica, es decir, presenta una bifurcación del raquis típica del género *Dicroidium*, además de algunos caracteres diagnósticos de las pínulas, como el tamaño, la venación aletopteroide, el ápice agudo y márgenes lisos, permiten atribuirlo tentativamente a *Dicroidium lancifolium*. Se puede diferenciar de otro género como *Kurtziana*, debido a que ésta última presenta dicotomía en las venas laterales y una vena media bien diferenciada, así como la base, por ejemplo, *K. cacheutensis* (Kurtz) presenta una base asimétrica.

Se ha reportado en muchas localidades del Triásico Superior. En Chile, en las formaciones Las Breas, La Ternera y El Puquén (Gnaedinger y Herbst, 2001), Quebrada Doña Inés Chica (Herbst y Troncoso, 2012) y en la Formación Huimpil-Llafquentué (Troncoso y Herbst, 2007); en Argentina, presenta una amplia distribución, para los yacimientos del Triásico, en las formaciones Potrerillos, Cacheuta, Chihuído, Llantenes, Cañadón Blanco, Laguna Colorada, Vera, Paso Flores, Ischichuca, Los Rastros, Ischigualasto, El Alcázar, Barreal, Cortaderita y Carrizal (Zamuner *et al.* 2001); en Sudáfrica, la Formación Molteno; en los montes Transantárticos en Antártica (Anderson y Anderson, 1983); en Queensland, Australia y Formación Long Gully, Nueva Zelanda (Retallack, 1977).

Clase Cycadopsida

Orden Cycadales

Familia Stangeriaceae

Género *Pseudoctenis* Seward 1911

Pseudoctenis cf. longipinnata J. M. Anderson et H.M Anderson 1989 (Figura 4.2 D)

Material estudiado: UDA-Pb-71

Descripción: Fragmento de hoja estéril de 3.5 cm de largo y 5.2 cm de ancho. Raquis fuertemente estriado de 0.47 cm de ancho. La pinna de mayor longitud mide 3.8 cm. Las pinnas se insertan con toda la base levemente ensanchadas, lo que produce un ala laminar, midiendo 0.6-0.7 cm de ancho en la base, continuando casi rectas, con una pequeña constricción peribasal con un ancho de 0.4-0.5 cm, con ángulos de 80°-85° con respecto al eje del raquis. Las pinnas se disponen de manera subopuestas, con una distancia entre ellas de 0.27-0.3 cm. Las venas salen desde la base, son paralelas y no se observa dicotomía, aproximadamente de 18-20 venas por pinna.

Comentarios: El género *Pseudoctenis* lo creó Seward (1911) para impresiones de hojas con caracteres intermedios entre *Ctenis* y *Pterophyllum* sobre la base de la morfología. Se distingue del primero porque las hojas se caracterizan por tener venación anastomosada y del segundo, por tener hojas con bases simétricas, insertas lateralmente o hacia arriba en el raquis y sin ala laminar entre las pinnas (Gnaedinger, 1999). Luego, Harris (1964) enmienda la diagnosis de *Pseudoctenis*, incorporando aspectos de la

epidermis. Según Du Toit (1927) y Gnaedinger (1999), es caracterizado por pinnas pro- y decurrentes en su base, por lo que es común, el arqueamiento basal de las venas, y generalmente una porción de ala laminar entre las pinnas.

Este ejemplar fragmentario es asignable al género *Pseudoctenis* debido a los caracteres diagnósticos principales, que serían las pinnas con bases ensanchadas, generando un ala laminar. Este espécimen es comparable con *Pseudoctenis longipinnata* Anderson y Anderson (1989), por el ángulo en que se disponen las pinnas respecto al raquis, la dimensión del ancho de las pinnas y el raquis, la manera en cómo se disponen y al no observarse dicotomía. El ápice no está preservado, por lo que no se puede asignar con seguridad a esta especie, además, la densidad de venas por pinnas es menor en este ejemplar (18-20 venas por pinnas) y *P. longipinnata* no presenta constricción basal. Asimismo, presenta ciertas similitudes con *Pseudoctenis spatulata*, como en el ancho del raquis, los márgenes basales acroscópico y basiscópico pro y decurrente respectivamente, y la constricción peribasal (aunque en el ejemplar aquí descrito es pequeña), la disposición de las pinnas en un ángulo de 80°-85°, pero se diferencia en que en *Pseudoctenis spatulata*, las venas se dicotomizan en la base hasta la mitad de la pinna.

P. longipinnata ha sido reportada para el Triásico de Chile, en la Formación La Ternera (Herbst y Troncoso, 2000) y en la región de Biobío en la localidad Cerro Calquinhue (Leppe y Moisan, 2003).

Pseudoctenis cf. carteriana (Oldham *et* Morris) Du Toit (Figura 4.2 E)

Material estudiado: UDA-Pb-98

Descripción: Fragmento de hoja estéril, de forma y tamaño desconocido, el ejemplar mide 3.07 cm de largo y 1.88 cm de ancho. Raquis estriado, de 0.34 cm de ancho. Pinnas hasta 0.98 cm de largo, insertadas basiscópicamente decurrente y de forma asimétrica en el raquis, midiendo 0.5-0.6 cm de ancho, con ángulos 60°-65°. Se disponen de manera subopuestas o alternas, separadas 0.2-0.5 cm entre ellas. Los márgenes son paralelos. Las venas laterales siguen la curvatura de la base y luego son paralelas, dicotomizadas cerca de la base. La densidad es de 12-13 venas por pinna cerca de la base, y en la parte más distal es de 17 venas por pinna.

Comentarios: Este ejemplar, al igual que el anterior, es asignable al género *Pseudoctenis*, debido a sus caracteres morfológicos como las pinnas insertadas básicamente decurrente, formando un ala laminar, en este caso asimétrica y venas laterales curvadas o arqueadas en la base. De las especies descritas para este género, este ejemplar no se ajusta a ninguna. Aunque de las especies triásicas del Gondwana, presenta varias similitudes con la especie *P. carteriana*, con base en el ángulo de inserción de los segmentos, disposición subpuestas a alternas de los segmentos y la densidad de venación (14-18 venas/cm), pero se diferencian en el ancho del raquis, siendo para la especie acá descrita, de mayor tamaño. Puede compararse con la especie *Pseudoctenis balli*, pero se diferencia en que ésta presenta ángulo de inserción $\sim 90^\circ$ y una densidad de venas menor. A pesar de tener varios caracteres diagnósticos para asociarla a *P. carteriana*, el ápice no está preservado, por lo que no se puede asignar con seguridad a esta especie. La especie *P. carteriana* ha sido reportada para el Triásico Superior en la Formación Llantenes (Artabe y Morel, 1982) y Formación Paso Flores (Arrondo *et al.*, 1991; Spalletti *et al.*, 1998a).

Incertae sedis

Género *Kurtziana* Frenguelli 1942

Kurtziana cacheutensis (Kurtz) Freng. 1942 (Figura 4.2 F)

Material estudiado: UDA-Pb-408; UDA-Pb-409.

Descripción: Fragmento de frondes monopinnadas, hasta 3.8 cm de largo y 2.8 cm de ancho. El raquis es estriado longitudinalmente y mide 0.2 cm de ancho. El fragmento de pinna más completo mide 3.5 cm de largo y 1.45 cm de ancho. La forma de la pinna entera no se puede determinar con seguridad, probablemente sea linear lanceolada. Las pinnas se insertan al raquis en ángulos 43°-52° y de forma subopuesta. El margen basal es basiscópico decurrente y acroscópico contraída hasta la vena media. Los márgenes son enteros. La venación es alepteroide, con una vena media bien marcada decurrente en la base. Las venas secundarias son dicotómicas, rectas a ligeramente cóncavas hacia la base, las cuales salen con un ángulo de 40° en la base. La densidad es de 12-15 venas/cm. Además, se observa, una porción basal de una segunda pinna, la cual permite determinar el espaciamiento entre ellas que es de 0.5 cm.

Comentarios: El género *Kurtziana* fue propuesto por Frenguelli (1942), cuya diagnosis fue emendada por Petriella y Arrondo (1982). Frenguelli (1942) utiliza la condición de paripinnada para separar este género de *Thinnfeldia* y *Dicroidium*. En la enmienda, Petriella y Arrondo (1982), proponen una forma simple de diferenciar morfológicamente *K. brandmayri* de *K. cacheutensis*, utilizando la forma de las pinnas, su base y la venación, pero no en los caracteres de cutícula, además, la enmienda se hizo en especies de Alicurá y no en el material tipo, por lo que Herbst y Gnaedinger (2002) descartan esta enmienda.

El material es similar a la especie *K. cacheutensis* descrita por Herbst y Gnaedinger (2002) y Artabe *et al.* (2007), con base en sus caracteres morfológicos, como el margen basal basiscópico decurrente y acroscópico contraída casi hasta la vena media, el ángulo con el que están insertas las venas laterales, márgenes enteros, vena media bien marcada, venas laterales dicotómicas y densidad de venación, la única diferencia es el ancho del raquis, siendo de menor dimensión en el ejemplar aquí descrito. Se diferencia de las especies *Kurtziana brandmayri* y *Kurtziana paiapotensis*, porque la primera presenta una base

simétrica y cordada, mientras que la segunda presenta un tamaño mucho mayor y la densidad de venas por centímetro es mayor. Esta especie ha sido registrada en el norte de Chile en la Formación La Ternera, Estratos de Cajón Troncoso y en la región del Biobío (Leppe, 2005); en Argentina en la Formación Cacheuta (Frenguelli, 1942a), Formación El Alcázar, Formación Cortaderita (Stipanovic, 1979), Formación Paso Flores (Morel *et al.*, 2000) y Formación Potrerillos (Artabe *et al.*, 2007b); Formación Molteno en Sudáfrica y en “Nymboida Coal Measures” en Australia (Herbst y Gnaedinger, 2002). Esta especie se registra desde el Triásico Medio al Jurásico Inferior.

Kurtziana cf. paipotensis (Kurtz) Freng. 1942 (Figura 4.2 G)

Material estudiado: UDA-Pb-487b

Descripción: Fragmento de pinna de hasta 3.9 cm de largo y 5.5 cm de ancho. El raquis no se encuentra preservado. El margen basal es basiscópico decurrente y acroscópico levemente contraída hasta la vena media. Los márgenes son enteros. La vena media es bien marcada decurrente en la base de 0.2 cm de ancho. Las venas laterales son dicotómicas una a dos veces, las cuales salen con un ángulo de 25°- 40° en la base. La densidad es de 15 venas/cm.

Comentarios: El material acá descrito, tiene similitud con la especie *Kurtziana paipotensis*, debido a sus grandes dimensiones, razón por la cual se diferencia de *K. cacheutensis*. Se diferencia también de *K. brandmayri*, ya que ésta presenta una base simétrica. A pesar de presentar varios caracteres diagnósticos de la especie *K. paipotensis*, presenta una densidad de venación de 15 venas/cm, siendo el mínimo para esta especie de 20 venas/cm, esta diferencia puede ser por una variación en la especie, por lo que no es posible asignarlo con seguridad, además de ser un material muy fragmentario y contar solo con un ejemplar.

Esta especie ha sido descrita solo para el Triásico de Chile en la Formación La Ternera (Gnaedinger y Herbst, 2002).

Orden Cycadeoidales
Género *Pterophyllum* Brongniart 1828

***Pterophyllum* sp.A** (Figura 4.2. H)

Material estudiado: UDA-Pb-78; UDA-Pb-84

Descripción: Fragmentos de frondas de hasta 10.8 cm de largo y 14.2 cm de ancho. Raquis estriado de 0.5-0.6 cm de ancho. Pinnas de hasta 7.6 cm de largo y 2 cm de ancho. Pinnas paralelas, subopuestas, y ligeramente falcadas con margen entero, insertadas lateralmente en el raquis con toda la base. Las pinnas se insertan con un ángulo de 70° y a una distancia entre ellas de 0.5-0.7 cm. Las bases son simétricas, sin arqueamiento basal, ni ala laminar. Las venas son rectas y paralelas, no se observa dicotomía. La densidad es de unas 45-50 venas por pinnas.

Comentarios: Cuando no se ha preservado la cutícula como elemento diagnóstico en la Cycadales (*Pseudocallis*) o Bennettiales (*Pterophyllum*), se agrupan como Cicadophytas (Herbst y Troncoso, 2000), como es en el caso de este trabajo. Ahora bien, para poder diferenciar estos dos géneros, las descripciones son los caracteres morfológicos, como la base de las pinnas, la posición de éstas respecto al raquis, el tipo de venación (simple, dicotómica y/o anastomosada) y la relación largo/ancho de las pinnas. Según Du Toit (1927) y Gnaedinger (1999), *Pterophyllum* se caracteriza por pinnas de lados paralelos, aspecto simétrico, con sus pinnas insertas lateralmente o hacia arriba en el raquis, carece de alas laminares entre las bases de las pinnas, las venas son rectas y no se curvan.

Los ejemplares descritos no cuentan con caracteres diagnósticos suficientes para poder asignarlas a una especie conocida en particular del género *Pterophyllum*. Presenta ciertas similitudes con *Pterophyllum valdivianum*, pero se diferencian en que, las descritas en este trabajo, son de tamaño mayor. Por el momento, quedan con nomenclatura abierta.

***Pterophyllum* sp.B** (Figura 4.2. I)

Material estudiado: UDA-Pb-83a; UDA-Pb-86; UDA-Pb-88; UDA-Pb-476

Descripción: Fragmentos de frondas de hasta 19.5 cm de largo y 14 cm de ancho. Raquis estriado de 0.4-0.5 cm de ancho. Pinnas de hasta 13 cm de largo y 1.6-3.5 cm de ancho. Pinnas paralelas, de margen entero, insertadas lateralmente en el raquis con toda la base y subopuestas. Las pinnas se insertan en ángulos 75° - 85° , se encuentran conectadas, no hay espacios entre pinnas. La venación es paralela y simple, y la densidad de venación es de 45-60 venas por pinnas.

Comentarios: Los ejemplares descritos no cuentan con suficientes caracteres diagnósticos que permiten incluirlos con seguridad a alguna especie conocida. Presenta similitud con *Pterophyllum azcaratei*, pero se diferencian en que esta última es de menor tamaño, no existe conexión entre las pinnas y la densidad de venación es menor.

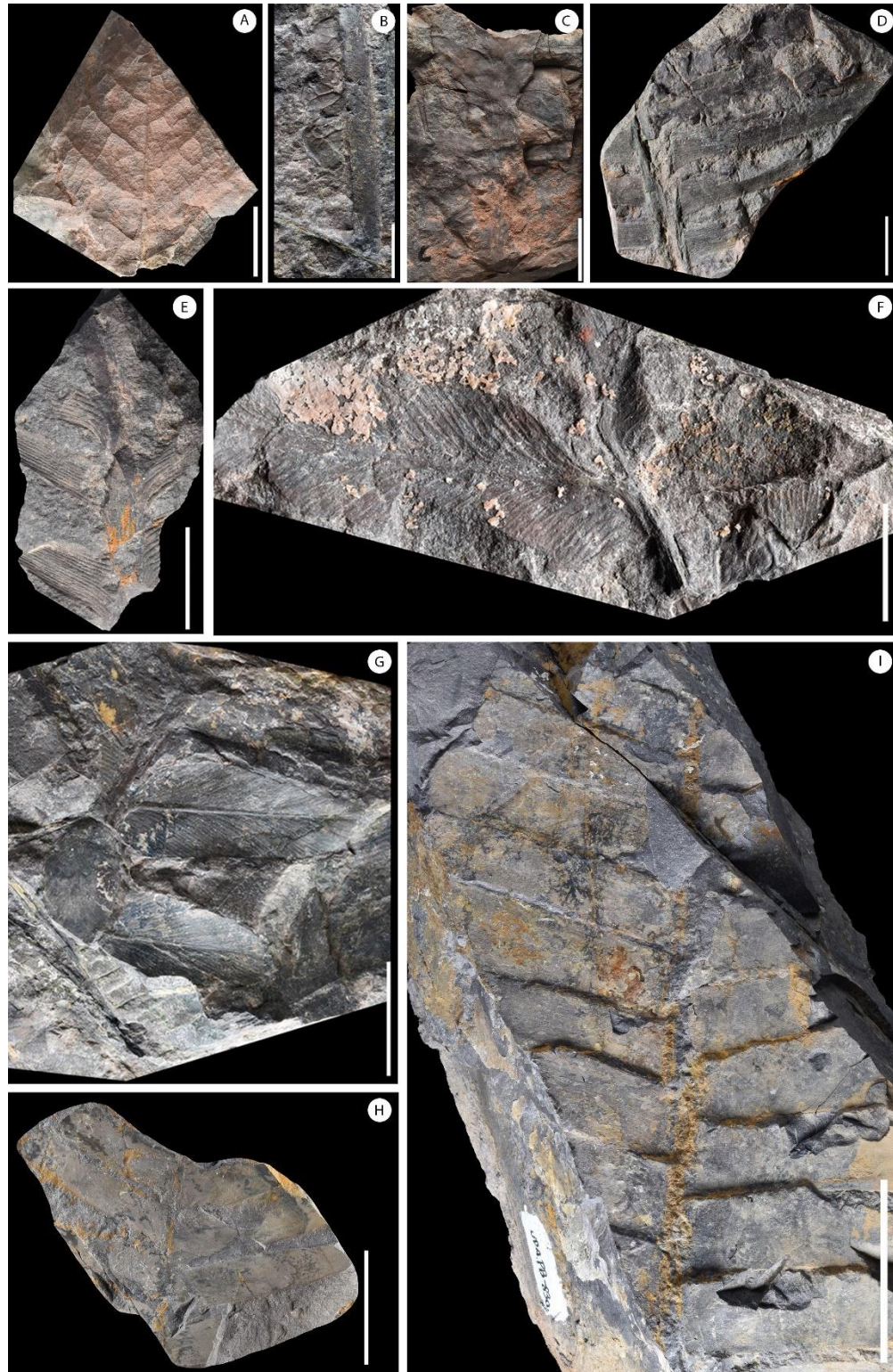


Figura 4.2. A. *Dictyophyllum* cf. *tenuifolium*; B. *Dictyophyllum* sp.; C. *Dicroidium* cf. *lancifolium*; D. *Pseudoctenis* cf. *longipinnata*; E. *Pseudoctenis* cf. *carteriana*; F. *Kurtziana* *cacheutensis*; G. *Kurtziana* cf. *paipotensis*. (Escala=1 cm); H. *Pterophyllum* sp.A (Escala=2 cm); I. *Pterophyllum* sp.B (Escala=5cm).

Incertae sedis

Género *Taeniopteris* Brongniart 1832

Taeniopteris* cf. *anavolans Anderson y Anderson 1989 (Figura 4.3. A)

Material estudiado: UDA-Pb-461b

Descripción: Fragmento de hoja linear hasta 5.67 cm de largo y 2.16 cm de ancho máximo. La vena media mide 0.45 cm de ancho. Los márgenes son algo ondulados. Las venas laterales están dispuestas con un ángulo 80-90° con respecto a la vena media. Las venas son simples y se dicotomizan una vez en las proximidades de la vena media. El número de venas es de 13-14 venas por cm.

Comentarios: El género *Taeniopteris* lo estableció Brogniart (1832) para hojas estériles de forma linear a oblanceoladas, vena media bien marcada, venas laterales dispuestas en un ángulo recto o casi recto, simples o dicotomizadas y rara vez anastomosadas. Este grupo contiene hojas que pertenecían a ciertos helechos (Marattiales) o a gimnospermas principalmente cicadófitas (Cycadales, Bennettitales) e incluyen fósiles tanto del Paleozoico como del Mesozoico. Si la cutícula y/o las estructuras reproductivas son preservadas, los fósiles pueden situarse en grupos y géneros naturales, como *Nilssonia* y *Nilssoniopteris*, si no, se colocan en este género artificial (van Konijnenburg-van Cittert *et al.*, 2016).

La especie aquí descrita, presenta similitudes con los ejemplares descritos por Anderson y Anderson (1989), como en el ángulo casi recto en las que están dispuestas las venas laterales y la densidad de venación, pero se diferencia por el ancho de la vena media, siendo ésta de menor dimensión. Si bien, presenta caracteres diagnósticos para poder asignarla a esta especie, al no preservarse la base y el ápice, no se puede asignar con seguridad a *Taeniopteris anavolans*.

Esta especie ha sido descrita para la Formación Molteno (Triásico Superior) y ha sido registrada en el norte de Chile en la Formación Las Breas (Gnaedinger y Herbst, 2004).

Taeniopteris cf. densinervis Menéndez 1951 (Figura 4.3. B)

Material estudiado: UDA-Pb-418

Descripción: Fragmentos de hojas hasta 4.3 cm de largo y 1.9 cm de ancho. Vena media de 0.34 cm de ancho. Las venas laterales están dispuestas con un ángulo 85-90° con respecto a la vena media. Las venas laterales son simples y se dicotomizan una vez en cualquier parte del recorrido. El ancho de las venas es entre 0.1 a 0.3 mm. El número de venas es de 25-26 venas por cm.

Comentarios: Este ejemplar es similar a los descritos por Gnaedinger y Herbst (2004) en el norte de Chile, coincidiendo en el ángulo con el cual se disponen las venas laterales y el tipo de venación simple, dicotomizándose en cualquier parte del recorrido. Se diferencia en la dimensión del ancho de la vena media, siendo en este trabajo mayor, y la densidad de venación es menor. Al no preservarse la forma (márgenes y ápice) no se puede asignar con seguridad a esta especie, pero coinciden en el ángulo con el cual se disponen las venas laterales. Anderson y Anderson (1989) incluyen con dudas a *T. densinervis* Menéndez en la sinonimia de *T. parvilocus* Anderson y Anderson, pero se diferencian en que esta última presenta venas anastomosadas y menor densidad de venación.

T. densinervis se ha identificado en Chile, en la Formación La Ternera y Formación El Puquén (Gnaedinger y Herbst, 2004), en Argentina, en la Formación Llantenes (Menéndez, 1951).

Taeniopteris cf. homerifolius Anderson y Anderson 1989 (Figura 4.3. C)

Material estudiado: UDA-Pb-478

Descripción: Fragmento de hoja hasta 15.43 cm de largo y 11 cm de ancho máximo. La vena media mide 0.6 cm de ancho. Las venas laterales están dispuestas con un ángulo 65-75° con respecto a la vena media. Las venas laterales se dicotomizan una vez en cualquier parte del recorrido y también son simples, aunque no se pueden observar con claridad. El ancho de las venas es de a 0.2 mm. El número de venas es de 12-14 venas por cm.

Comentarios: Anderson y Anderson (1989) citan algunos ejemplares como *T. anavolans*. Sin embargo, Gnaedinger y Herbst (2004), diferencian bien las especies en Chile.

El ejemplar descrito efectivamente coincide en su mayoría con los caracteres dados por Anderson y Anderson (1989) para esta especie, como el ángulo en el cual están dispuestas las venas laterales y una vena media gruesa, pero se diferencian porque el ejemplar aquí descrito presenta un mayor tamaño. También se asemeja a *T. anavolans*, pero difieren en el ángulo en el cual están dispuestas las venas laterales, presentando un ángulo menor. Esta especie se ha identificado en Chile, en la Formación La Ternera y Formación Las Breas (Gnaedinger y Herbst, 2004).

Taeniopteris cf. lutzae Gnaedinger y Herbst 2004 (Figura 4.3. D y E)

Material estudiado: UDA-Pb-446a; UDA-Pb-489

Descripción: Fragmentos de hoja linear hasta 7.6 cm de largo y 2.55 cm de ancho máximo. La vena media mide 0.3 cm de ancho. La base es asimétrica, cuneiforme, decurrente. Los márgenes son algo ondulados. Las venas laterales están dispuestas con un ángulo 80-90° con respecto a la vena media. La mayoría de las venas son simples, con menor frecuencia se dicotomizan una vez luego de un breve recorrido o a la salida de la vena media. El número de venas es de 20-24 venas por cm.

Comentarios: La mayoría de los caracteres diagnósticos se asemejan a *T. lutzae*, pero se diferencian al presentar más densidad de venas. Además, el ápice no se ha preservado, por lo que no se puede asignar con total seguridad a esta especie. También, es comparable con *T. crassinervis*, pero se diferencia en que esta última presenta venas dicotomizadas dos veces. Esta especie ha sido descrita en Chile, en la Formación La Ternera (Gnaedinger y Herbst, 2004).

Taeniopteris vittata Brongniart 1831 (Figura 4.3. G)

Material estudiado: UDA-Pb-457b; UDA-Pb-485; UDA-Pb-473b

Descripción: Fragmentos de hojas lanceoladas u oblanceoladas hasta 6.1 cm de largo y entre 1.1 a 2.1 cm de ancho máximo. La vena media mide entre 0.13 a 0.3 cm de ancho. Los márgenes son algo ondulados. Las venas laterales emergen de la vena media con un ángulo 65-75°. Las venas se dicotomizan una vez en las proximidades de la vena media, o a distintas alturas de su recorrido. El número de venas es de 20-22 venas por cm.

Comentarios: Los caracteres descritos coinciden con los de Arber (1917) y Artabe (1985), como las hojas de ancho inferior a 4 cm, con venación densa, saliendo bajo un ángulo agudo para luego disponerse a 80°-90°, y la mayoría de las venas se dicotomizan una vez a distintas alturas de su recorrido. Los ejemplares descritos en este trabajo, se diferencia en que las venas laterales emergen de la vena media con un ángulo agudo, pero luego no se disponen en un ángulo recto (o casi recto), además, presenta menor densidad de venación. Esta especie ha sido descrita en Chile, en la Formación La Ternera (Gnaedinger y Herbst, 2004a) y en la Formación Santa Juana (Moisan *et al.* 2010).

Taeniopteris magnifolia Rogers (Figura 4.3. H)

Material estudiado: UDA-Pb-480; UDA-Pb-462

Descripción: Fragmentos de hojas lanceolada u oblanceolada y cuneiforme de hasta 6.1 cm de largo y entre 1.1 a 2.1 cm de ancho máximo. La vena media mide entre 0.38 a 0.43 cm de ancho. Los márgenes son algo ondulados. Las venas laterales emergen de la vena media con un ángulo 85 a 90°. La mayoría de las venas son simples, y con menor frecuencia las venas se dicotomizan una vez en las proximidades de la vena media. El número de venas es de 18-20 venas por cm.

Comentarios: Los caracteres descritos para estos ejemplares, coinciden con los entregados por Du Toit (1927) y Artabe (1985) para *Taeniopteris magnifolia*, debido a la presencia de venas dicotomizadas una vez en las proximidades de la vena media y el porcentaje de las venas simples. Además, también coincide con el ángulo en el que están dispuestas las venas laterales y también por la densidad de venación. Esta especie ha sido

descrita en Chile, en la Formación La Ternera y Formación Las Breas (Gnaedinger y Herbst, 2004a); en Argentina en el Grupo El Tranquilo (Gnaedinger y Herbst, 1998).

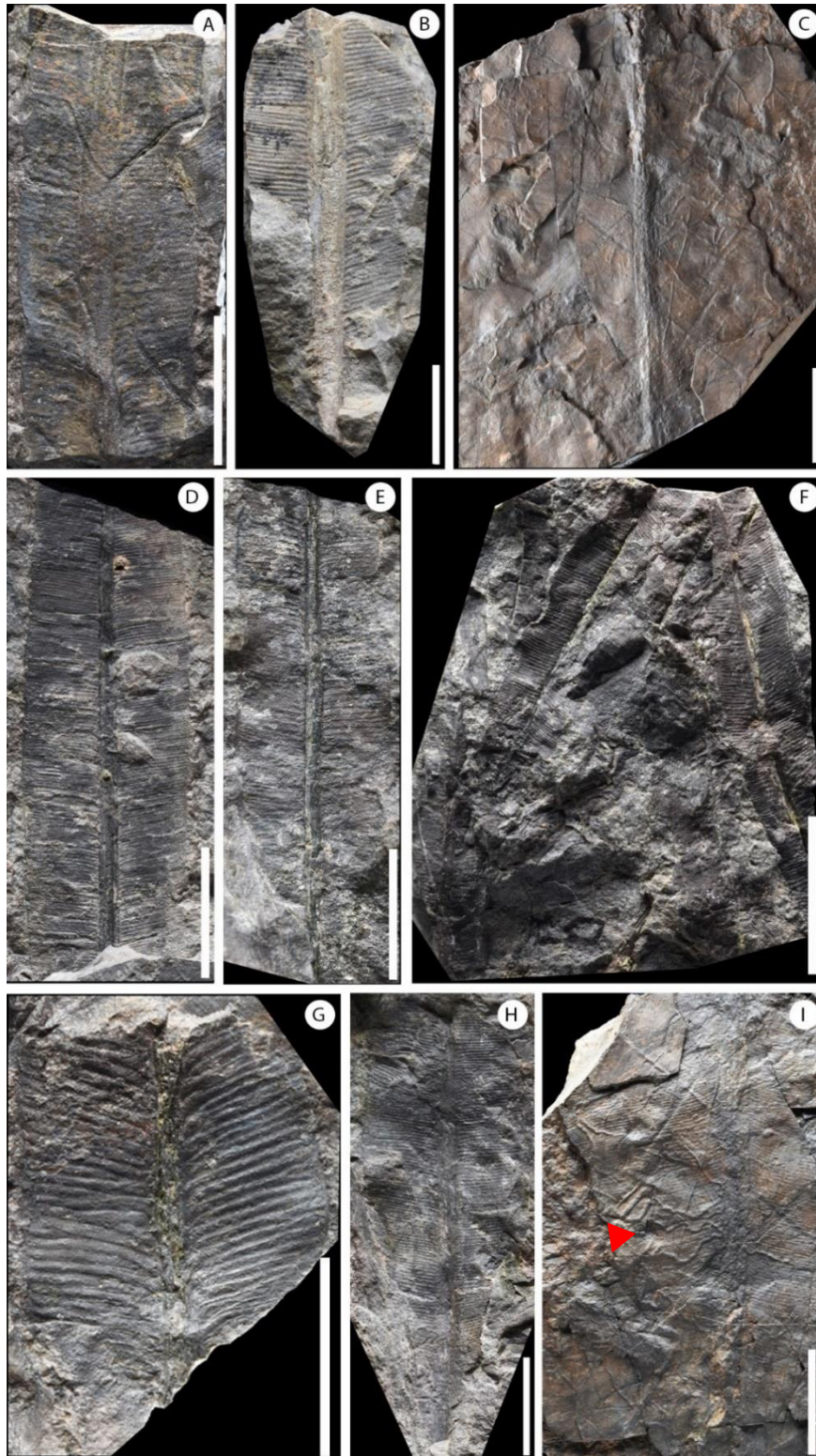


Figura 4.3. A. *Taeniopteris* cf. *anavolans* (Escala=2cm); B. *T.* cf. *densinervis* (Escala=1cm).; C. *T.* cf. *homerifolius* (Escala=1cm); D y E. *T.* cf. *lutzae* (Escala=2cm); F. *T.* cf. *vittata* (Escala=1cm); G. *T. vittata* (Escala=1cm); H. *T. magnifolia* (Escala=2cm); I. *T. homerifolius* con trazas postdeposicionales indeterminadas (flecha roja) (Escala=2cm).

4.1.2 Síntesis de los taxones descritos

División Pteridophyta

Clase Pteridopsida

Orden Marattiales

Familia Asterothecaceae

Género *Asterotheca* K. Presl 1845

Asterotheca rigbyana Herbst 1977

Asterotheca fuchsi (Zeiller) Herbst 1998

Orden Osmundales

Familia Osmundaceae

Género *Cladophlebis* Brongniart 1849

Cladophlebis mesozoica (Kurtz) Frenguelli 1947

***Cladophlebis* sp.**

Orden Filicales

Familia Dipteridaceae

Género *Dictyophyllum* Lindl. et Hutton 1834 Webb 1982

Dictyophyllum* cf. *tenuifolium Bonetti et. Herbst 1964

***Dictyophyllum* sp.**

División Pteridospermophyta

Clase Pteridospermopsida

Orden Corystospermales

Familia Corystospermaceae

Género *Dicroidium* Gothan 1912

Dicroidium* cf. *lancifolium (Morris) Gothan, 1912

División Cycadophyta

Clase Cycadopsida

Orden Cycadales

Familia Stangeriaceae

Género *Pseudoctenis* Seward 1911

Pseudoctenis* cf. *longipinnata J. M. Anderson et H.M Anderson 1989

Pseudoctenis* cf. *carteriana

Incertae sedis

Género *Kurtziana* Freng. 1942

Kurtziana cacheutensis (Kurtz) Freng. 1942

Kurtziana* cf. *paipotensis Herbst et. Gnaedinger 2002

Orden Bennettiales

Género *Pterophyllum* Brongn, 1828

***Pterophyllum* sp.A**

***Pterophyllum* sp.B**

Incertae sedis

Género *Taeniopteris* Brongn. 1832

Taeniopteris* cf. *anavolans

Taeniopteris* cf. *densinervis Menéndez 1951

Taeniopteris* cf. *homerifolius Anderson y Anderson 1989

Taeniopteris* cf. *lutzae Gnaedinger y Herbst

Taeniopteris* cf. *vittata Brogniart 1831

Taeniopteris* cf. *magnifolia Rogers

4.1.3 Abundancia relativa de los distintos grupos de la flora fósil presentes en la Formación Agua Chica

La flora fósil de la Formación Agua Chica está representada por distintos grupos. De un total de 126 ejemplares, predominan los helechos (51%) como *Asterotheca*, *Cladophlebis* y *Dictyophyllum* y los incertae sedis (29%) representados por *Taeniopteris*; y de manera subordinada se encuentran las cicadófitas (18%) como *Pseudoctenis*, *Kurtziana* y *Pterophyllum*; y los helechos con semillas (2%) representados por *Dicroidium*.

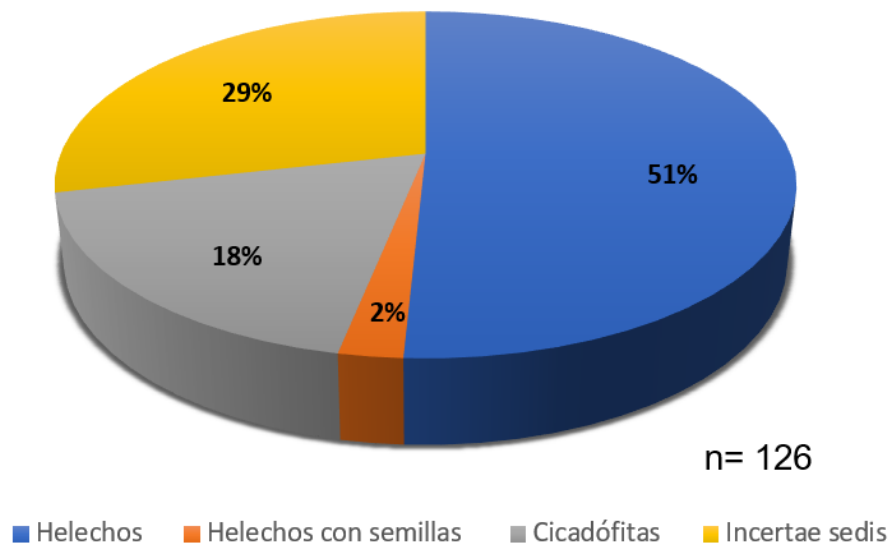


Figura 4.4. Gráfico de abundancia relativa de los distintos grupos de flora fósil presentes en la Formación Agua Chica.

4.2 Paleontología

Orden Blattodea

Gen. et. sp. indet.

(Figura 4.5)

Descripción: Fragmento de ala de insecto de 2.43 cm de largo y 1.78 cm de ancho. Presenta una vena media central bien marcada, la cual se ensancha (0.05 cm de ancho máximo) hasta finalizar en 4 venas que se ramifican hacia los bordes laterales. Las venas laterales presentan dicotomías y salen desde la vena media en un ángulo $\sim 13^\circ$, las cuales también se ramifican hacia los bordes.

Comentarios: Debido a la preservación del fósil, y a la ausencia de caracteres diagnósticos, por el momento, no es posible asignarlo con seguridad a algún género del orden Blattodea. Este orden ha sido descrito en Argentina para el Triásico Superior, en la Formación Los Rastros (Lara, 2016; Bustos *et al.*, 2021) y Formación Cañadón Largo (Cariglino *et al.*, 2021). Mientras que, para el Triásico Superior en Chile, el registro de insectos es escaso (Lara *et al.*, 2023) y solamente es representado por escarabajos y hemípteros en la Formación Santa Juana (Gallego y Nielsen, 2005). Aunque en recientes expediciones, se ha recuperado varios restos de insectos en diferentes localidades como en la Quebrada La Pelada, Estratos Mono-La Coipa en la Región de Atacama (Aguilar *et al.*, 2022; Cariglino *et al.*, 2021; Volosky *et al.*, 2022).

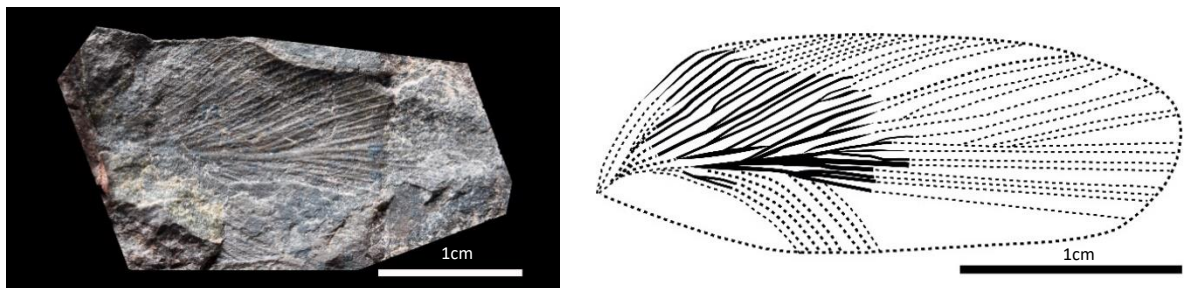


Figura 4.5. Resto de ala de insecto fósil (izquierda). Dibujo esquemático del ala fósil (derecha). Escala = 1cm.

4.3 Paleoicnología

A continuación, se presenta lo que sería el primer registro de trazas fósiles continentales para la Formación Agua Chica. Estos icnofósiles están preservados en un nivel de lutitas color pardo rojizo. Para este trabajo, solo se presentará una descripción general de cada traza y el icnogénero que tentativamente se podría asignar, por lo que en esta oportunidad quedarán con la nomenclatura gen. et. sp. indet., dejando esta sección para futuras investigaciones.

Gen. et. sp. indet. A

(Figura 4.6. 2A)

Descripción: Trazas en forma de U con *spreiten* (generalmente protusivos). Su longitud es de 1.8 cm y tiene un ancho de 0.23 cm. Se preserva en epirrelieve positivo.

Comentarios: Presenta similitud con el icnogénero *Rhizocorallium* Zenker (1836) debido a la presencia de *spreiten* en forma de U alargada. *Rhizocorallium* se ha interpretado como una estructura de domicilio/alimentación de organismos vermiformes y/o crustáceos suspensívoro o depositívoros. Éste icnogénero ha sido reportado en ambientes marinos someros y profundos, aunque también hay menciones para ambiente fluviales y abanicos submarinos (Buatois y Mángano, 1993a). Su rango estratigráfico es desde el Cámbrico a la actualidad.

Gen. et. sp. indet. B

(Figura 4.6. 2B)

Descripción: Traza sinuosa que se adelgaza al final de las curvas, las paredes presentan un margen tenuemente hundido. La longitud de la traza es hasta 4.23 cm, la amplitud de las curvas es de 2 mm de ancho. Se conserva en hiporrelieve.

Comentarios: Presenta similitud con el taxón *Cochlichnus anguineus* Hitchcock (1858) debido a la forma sinuosa y vermiformes que constituyen un ejemplo típico de movimiento ondulado (Seilacher, 2007). Este género, por lo general, se ha encontrado en

asociación con *Gordia*, *Helminthoidichnites*, *Lockeia*, *Protovirgularia*, interpretadas como trazas de pastoreo (Gluszek, 1995; Buatois *et al.*, 1997; Balistieri *et al.*, 2002; Buatois y Mángano, 2007). *Cochlichnus* ha sido reportado desde el Carbonífero tardío hasta la actualidad (Buatois y Mángano, 1993a). Para el Triásico ha sido reportada en la cuenca Ischigualasto-Villa Unión (Melchor, 2004).

Gen. et. sp. indet. C

(Figura 4.6. 3C)

Descripción: Segmentos simples, rectos o curvos, asociados a tubos verticales u oblicuos formando un sistema tridimensional. La longitud máxima observada es de 9 cm y ancho de 0.08 cm. Se preservan hiperrelieve positivo.

Comentarios: Presenta similitud con el icnogénero *Treptichnus* Miller (1889) debido a la forma simples, rectos o curvos y el ancho de los segmentos que, para este género, oscila entre 0.5 a 3 mm. *Treptichnus* se ha interpretado como una estructura de alimentación tridimensional, producida por larvas de insectos o vermiformes. Se preservan asociados a otros taxones como *Cruziana*, *Protovirgularia*, *Rusophycus* y *Undichna*. Además, éste icnogénero ha sido reportado en ambientes lacustres, marinos someros y abanicos submarinos (Buatois y Mángano, 1993a)

Gen. et. sp. indet. D

(Figura 4.6. 3D)

Descripción: Crestas o surcos horizontales simples, no ramificados, con trayectoria recta a sinuosa o curva, de 0.25 mm de ancho. Es frecuente que se entrecrucen otros ejemplares, y presentan gran diversidad por roca. Se preservan en epirelieve negativo e hiperrelieve positivo.

Comentarios: Presenta similitud con el icnogénero *Helminthoidichnites* Fitch (1850) debido a la forma simple, no ramificados, pequeñas, de rectos a curvos. Además, coincide con las dimensiones de este género, con un diámetro que oscila entre 0.18 y 0.25 mm. Es comparable con el género *Helminthopsis*, ya que los ejemplares se entrecruzan entre sí y

por presenta una densidad mayor por laja (Jensen, 1977). También se asemeja al género *Gordia*, pero se diferencia en que ésta última se caracteriza por ser una pista con un patrón circular con cruzamientos (Buatois y Mángano, 1992b). Estos taxones se han registrado en asociación con otros taxones como *Cruziana*, *Gordia*, *Treptichnus*, *Monomorphichnus*, *Protovirgularia* y *Undichna*, las cuales han sido interpretadas como trazas de pastoreo horizontal (Pascichnia). *Helminthoidichnites* abarca desde el Precámbrico (Narbonne y Aitken, 1990) hasta el Cretácico Inferior (Fregenal Martínez *et al.*, 1995), se conoce en ambientes marinos y no marinos, las cuales son producida probablemente por artrópodos, larvas de insectos o nematorfos (Buatois y Mángano, 1993b; 1997, 2003).



Figura 4.6. 1. Trazas fósiles preservadas en lutita pardo rojiza. 2. Gen. et. sp. indet A; Gen. et. sp. indet B; 3. Gen. et. sp. indet C; D.Gen. et. sp. indet D. Escala = 4 cm.

CAPÍTULO 5. ESTRATIGRAFÍA

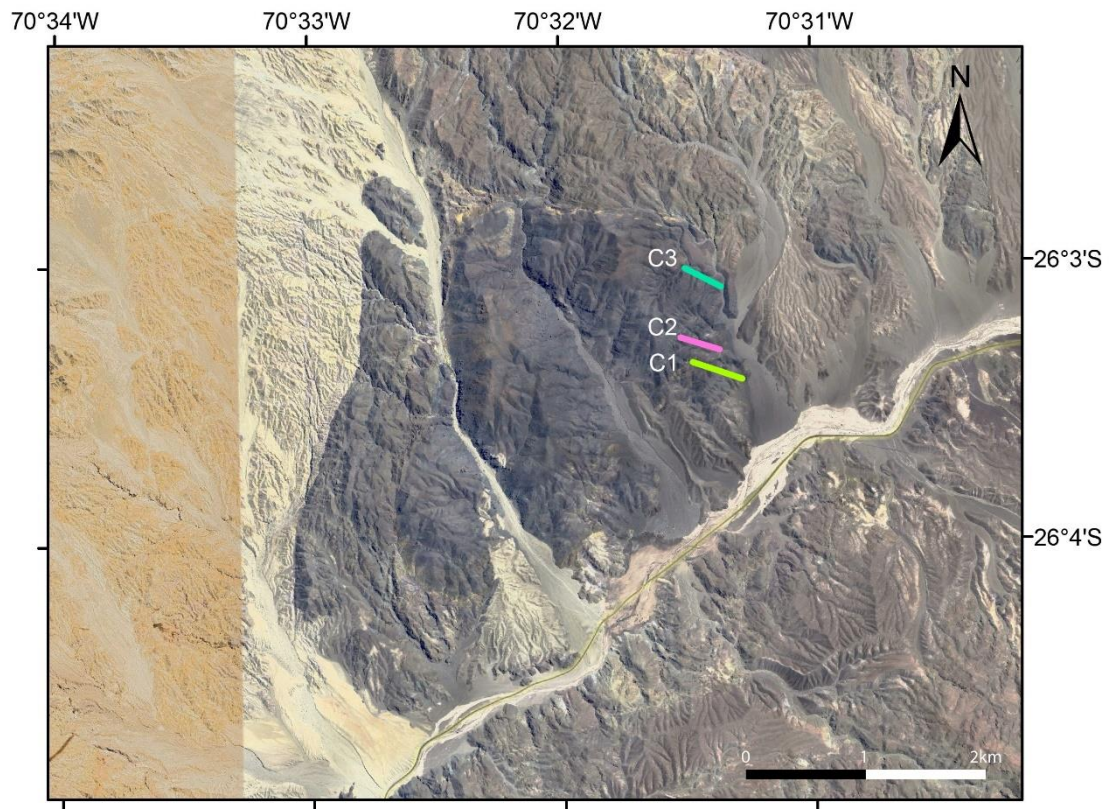


Figura 5.1. Ubicación de las secciones estratigráficas (C1, C2, C3) realizadas en este estudio.

El área de estudio se caracteriza por presentar afloramientos rocosos meteorizados y erosionados, por lo que éstos no presentan una buena exposición y conservación. Sin embargo, los afloramientos portadores de la flora fósil, se encuentran mejor conservados, permitiendo una observación a detalle de éstas.

Se estudiaron tres secciones estratigráficas a detalle (Figuras 5.4, 5.7, 5.9), que describen de manera parcial cada afloramiento, esto es, con el propósito de determinar el ambiente deposicional de la flora fósil de la Formación Agua Chica. Para lo anterior, se prestó especial atención en las descripciones de la litología (textura y composición), estructuras sedimentarias primarias, geometría o arquitectura de los cuerpos de rocas, los cuales son parámetros necesarios para la definición de facies o litofacies (Reading y

Leavell, 1996), así como su contenido fósil. Además, se agrupan en distintas asociaciones de acuerdo a condiciones genéticas comunes.

Columna Estratigráfica 1 (C1)

Ubicada en las coordenadas UTM 19 J / 347.769 m E – 7.117.154 m N y situada a una altura de 390 m s.n.m.

La sucesión está compuesta por conglomerados con clastos de andesita y areniscas finas, sostenidos por una matriz, areniscas de grano fino a muy fino y lutitas, aglomerados andesíticos en una matriz también volcánica y lavas de composición intermedia (andesita y dacita) con una potencia total de ~70 m (Figura 5.4). Las areniscas de grano fino a muy fino presentan restos fósiles de hojas de cicadófitas (*Pterophyllum* y *Pseudoctenis*). Además, las lavas contienen restos de troncos silicificados in situ (Figura 5.3).

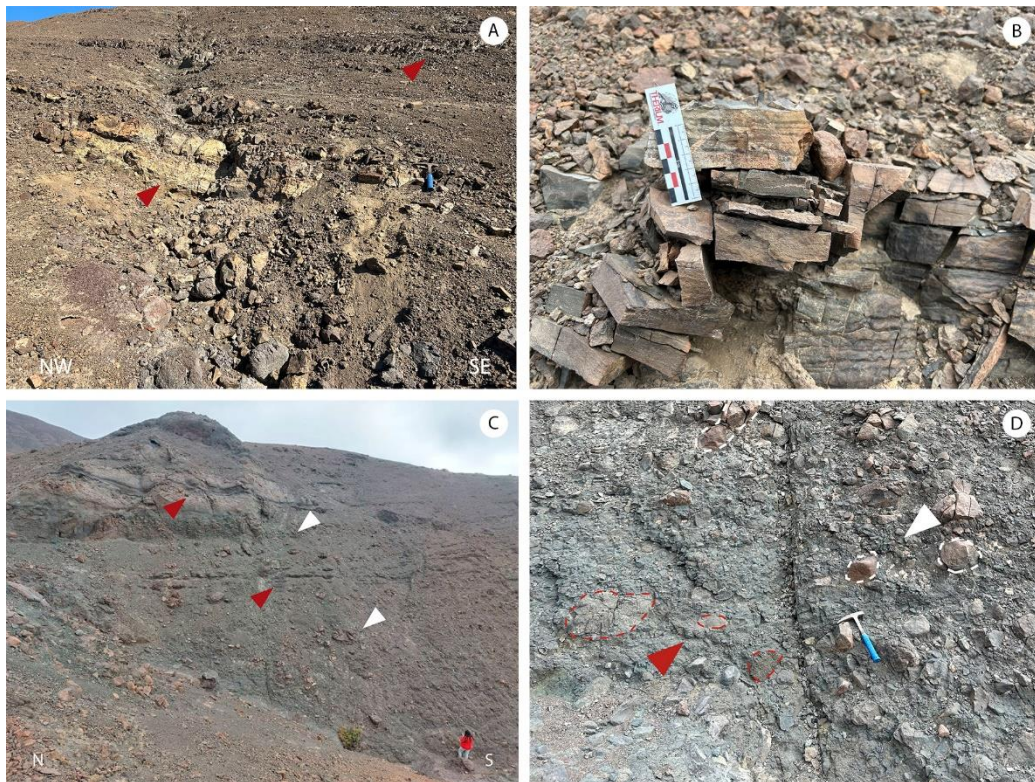


Figura 5.2. Principales afloramientos descritos en la parte inferior de la columna C1. A y B. Areniscas finas con laminación paralela. C. Vista general de la columna C1. D. Aglomerado con bloques de areniscas (flecha blanca) y andesita (flecha roja).



Figura 5.3. Principales afloramientos descritos en la parte superior de la columna C1. A. Arenisca finas en contacto con aglomerado. B. Afloramiento fosilífero donde se encontró las cicadófitas (*Pseudoctenis* y *Pterophyllum*). C y D. Lavas intermedias con presencia de maderas fósiles silicificadas in situ.

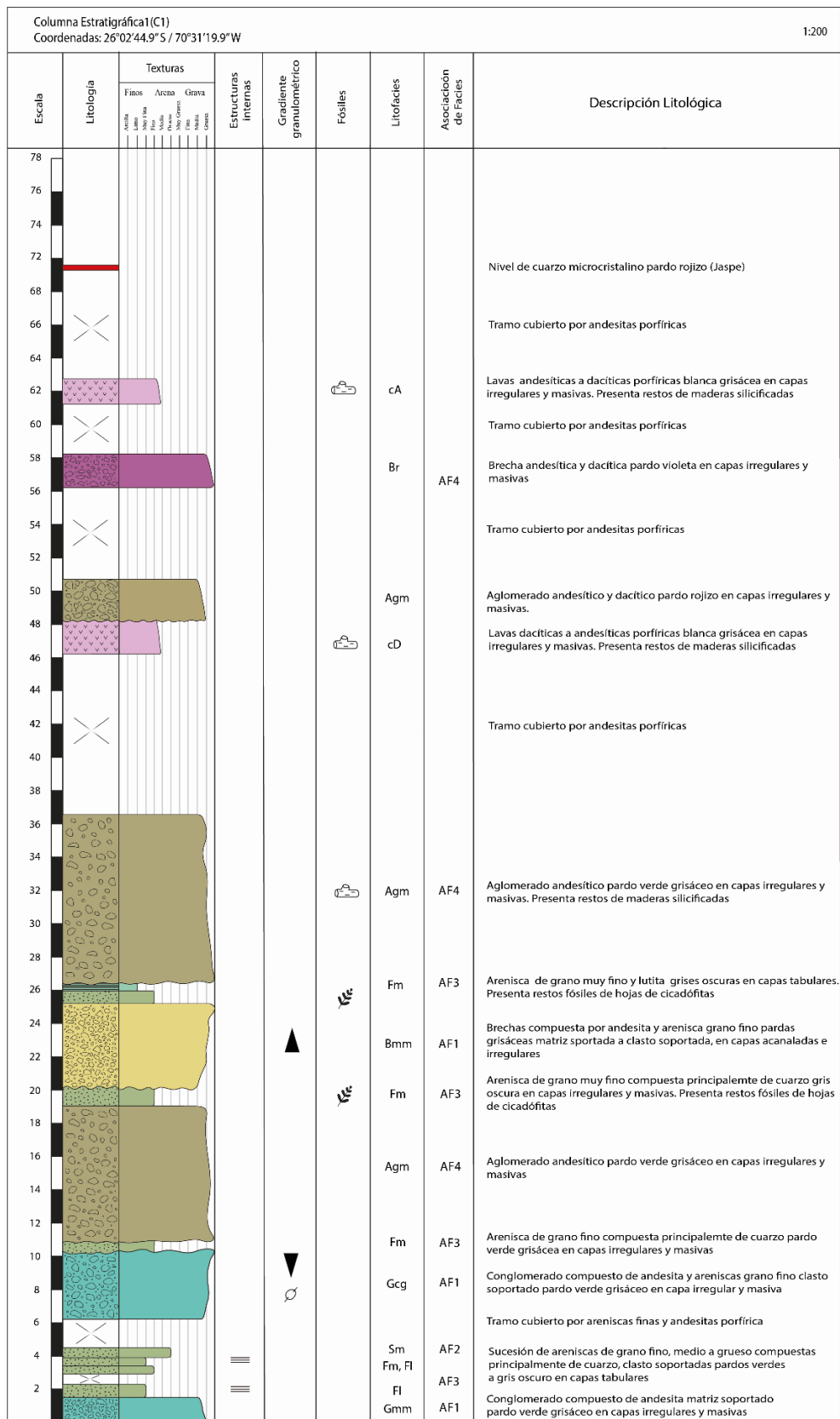


Figura 5.4. Columna estratigráfica C1 con coordenadas UTM 19 J / 347.769 m E – 7.117.154 m N.

Columna Estratigráfica 2 (C2)

Ubicada en las coordenadas UTM 19J/ 347.504 m E – 7.117.345 m N y situada a una altura de 420 m s.n.m.

La sucesión está compuesta de areniscas de grano medio, areniscas finas, conglomerados, brechas andesíticas y dacíticas, con una potencia total de ~28.8 m. (Figura 5.7). Tramos de areniscas, conglomerados, aglomerados y brechas contienen restos de troncos silicificados in situ (Figuras 5.5 y 5.6).

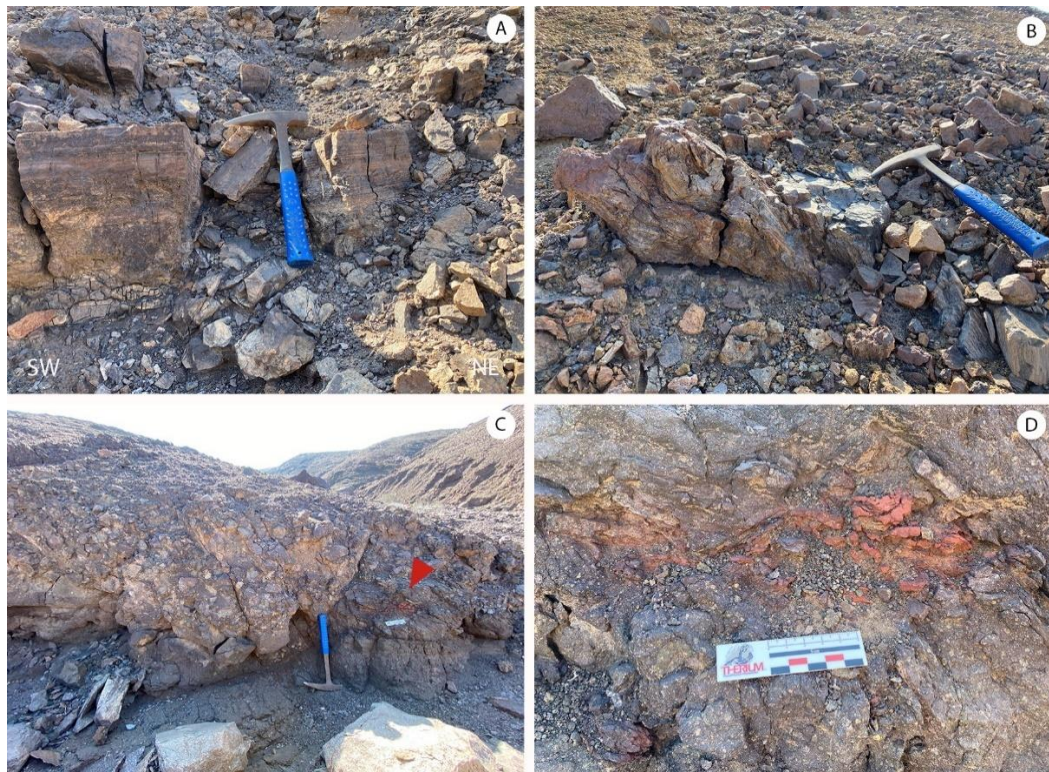


Figura 5.5. Principales afloramientos descritos en la parte inferior de la columna C2. A. Areniscas finas con laminación paralela. B. Tronco pardo rojizo silicificado in situ. C. Brecha volcánica pardo violeta con tronco rojizo in situ (flecha roja). D. Zoom de la madera (Figura 5.5. C).

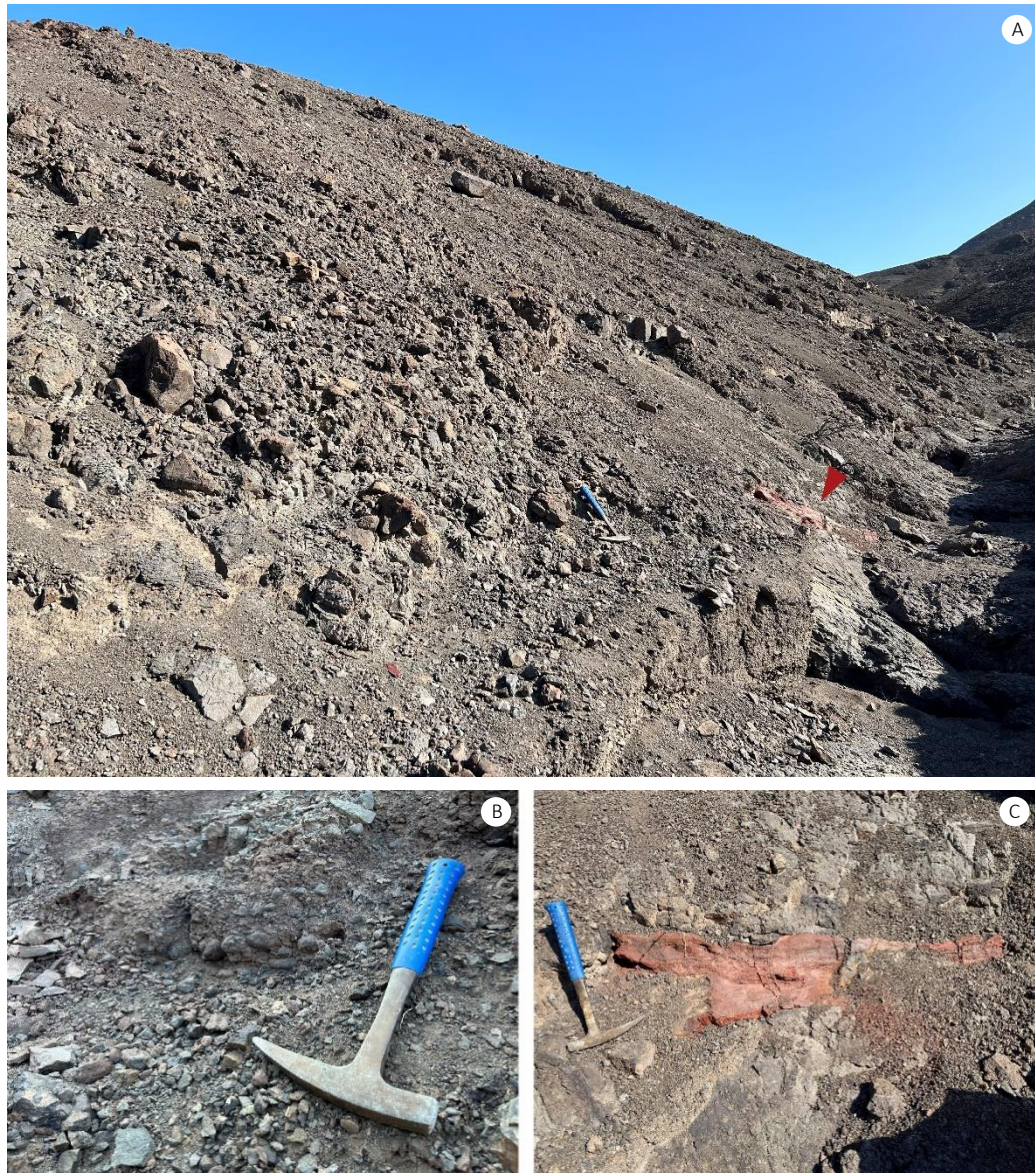


Figura 5.6. Principales afloramientos descritos en la parte superior de la columna C2. A. Conglomerado sedimentario con presencia de madera fósil color pardo rojizo (flecha roja). B. Zoom del afloramiento de conglomerado con clastos de composición andesítica e incipiente imbricación de clastos. C. Zoom de madera fósil pardo rojiza de aproximadamente 1.3 m de largo.

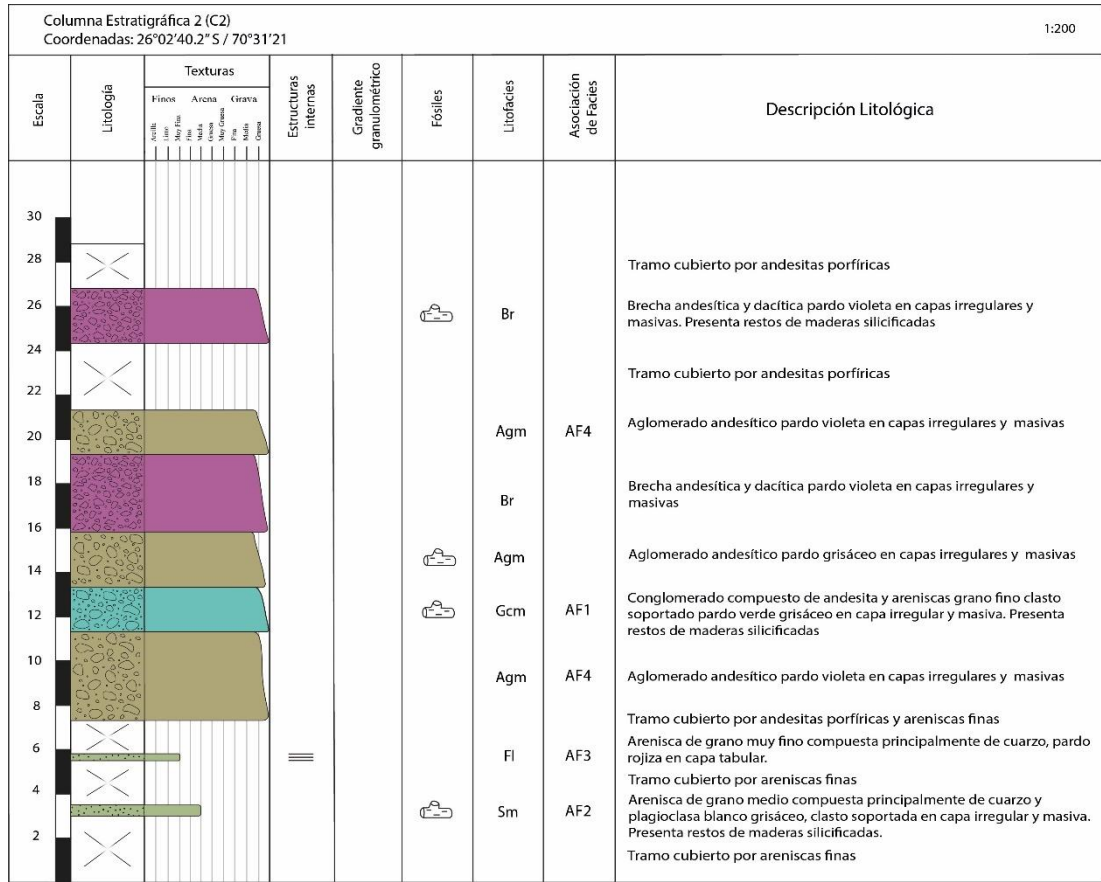


Figura 5.7. Columna estratigráfica C2 con coordenadas UTM 347.504 m E – 7.117.345 m N.

Columna Estratigráfica 3 (C3)

Ubicada en las coordenadas UTM 19J/ 347.656 m E – 7.117.268 m N y situada a una altura de 434 m s.n.m. La sucesión está compuesta de brechas, conglomerados, areniscas lutitas y aglomerados compuestos principalmente de andesita, con una potencia total de 37 m (Figura 5.9). Las areniscas de grano fino a muy fino contienen flora fósil como *Asterotheca*, *Cladophlebis*, *Dictyophyllum*, *Dicroidium*, y hojas de afinidad incierta como *Taeniopteris* (Figura 5.8). Un nivel de lutita, presenta trazas fósiles continentales.



Figura 5.8. Principales afloramientos descritos en la columna C3. A. Vista general de la columna C3 en el área de estudio. B. Vista general de afloramientos de areniscas grano fino portadores de flora fósil. C. Resto de planta fósil correspondiente a *Dictyophyllum* cf. *tenuifolium*. D. Resto de hoja fósil con afinidad incierta correspondiente a *Taeniopteris*.

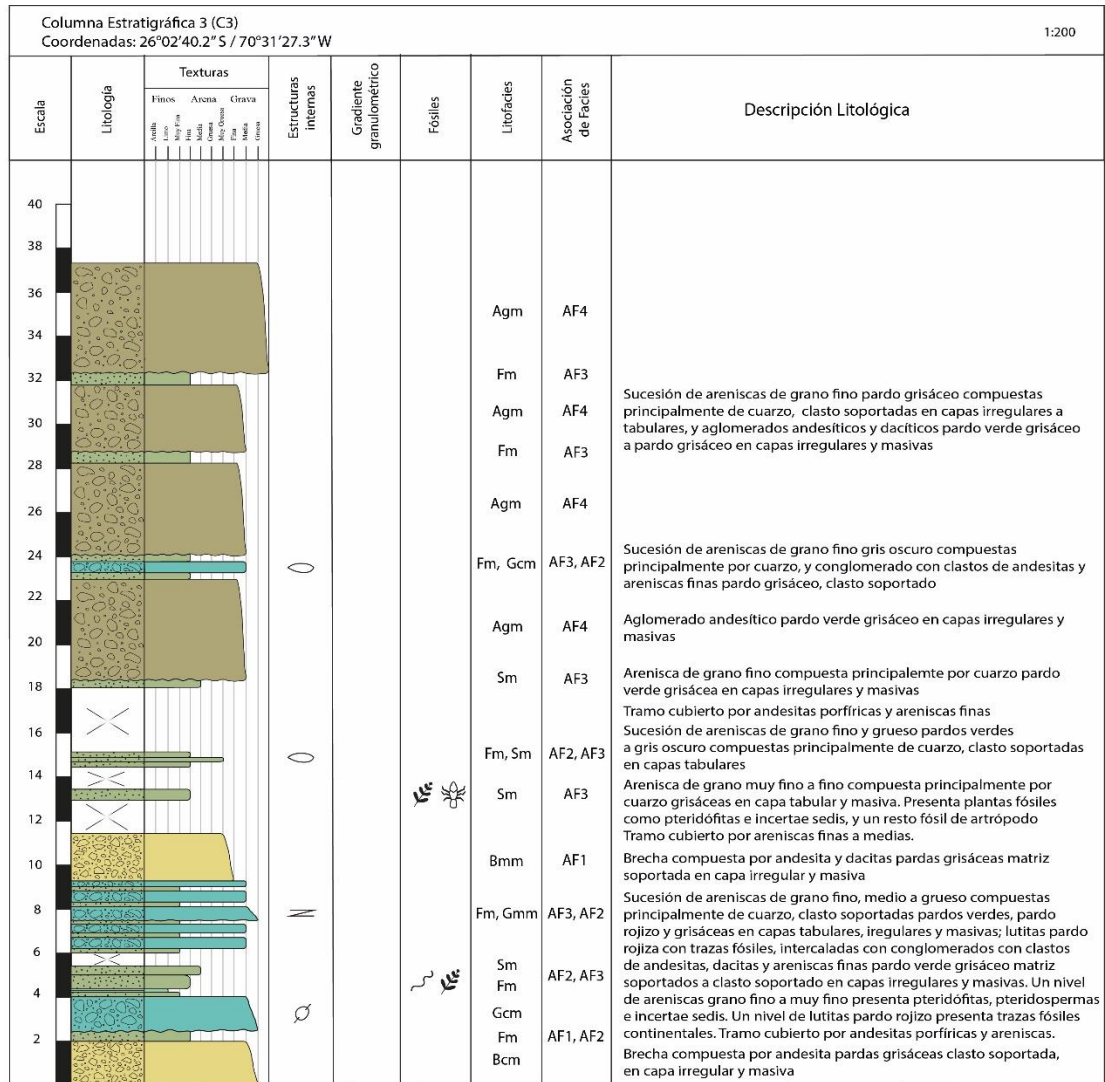


Figura 5.9. Columna estratigráfica C3 con coordenadas UTM 347.656 m E – 7.117.268 m N.

5.1 Descripción y análisis de litofacies

Se presenta la descripción de las diferentes litofacies y el posterior análisis de facies realizado a partir del levantamiento estratigráfico.

Se identificó un total de 11 litofacies, de las cuales 8 son sedimentarias (ver Tabla 2), predominando las facies gruesas de conglomerados, las areniscas de grano fino a muy fino son las rocas que contienen la flora fósil; las 3 restantes corresponden a facies volcánicas (ver Tabla 3). Respecto a las asociaciones de facies, en este estudio, se reconocen 4 asociaciones de facies, las que involucran un ambiente deposicional sedimentario y volcánico.

5.1.1 Litofacies sedimentarias

Conglomerado matriz soportado masivo (Gmm)

Descripción: la facies Gmm (Figura 5.10. A) corresponde a conglomerados matriz soportados de color pardo verde grisáceo y pardo rojizo, masivos e irregulares, polimícticos dispuestos en estratos centimétricos a algunos metros de espesor, la clasificación va de moderada a pobremente seleccionada. La matriz tamaño arena media a gruesa, compuesta principalmente de cuarzo, feldspatos y líticos (probablemente de composición volcánica), y en algunos casos presenta cristales de plagioclasa aislados. Los clastos son subredondeados a redondeados, con tamaño que varían entre 0.2 cm a 10 cm, compuesto, en su mayoría, de rocas volcánicas (andesitas y dacitas) y en menor proporción, rocas sedimentarias (areniscas). Comúnmente en contacto erosivo con facies Sm, Fm y Fl.

Interpretación: la presencia de facies Gmm podrían ser originadas por flujos de detritos de alta resistencia (Miall, 1977; 2006), desarrollados en condiciones sub-aéreas a sub-acuáticas (Miall, 2006). La facies Gmm suele ocurrir en la parte proximal de los abanicos aluviales (Nemec y Steel, 1984; Nichols, 2009), con el transporte necesario para adquirir el redondeamiento de los clastos o bien, puede ser resultado de la erosión y/o retrabajo de un depósito de conglomerado previo.

Conglomerado clasto soportado con gradación inversa (Gcg)

Descripción: la facies Gcg corresponde a un conglomerado clasto soportado de color verde grisáceo, presenta una incipiente imbricación de clastos, y desarrolla una gradación inversa. El estrato tiene uno metros de espesor, y la clasificación va de moderada a pobremente seleccionada. La matriz es de tamaño arena fina a media, compuesta de feldespato, cuarzo y líticos, predominando los cristales de plagioclasa. Los clastos son subredondeados a subangulosos, compuestos, en su mayoría de roca volcánica (andesita) y sedimentarios (arenisca), con tamaño que varía entre 0.5 cm a 40 cm.

Interpretación: la facies Gcg puede presentarse de dos formas, como un flujo de detritos y de alta resistencia, o como un flujo de baja carga de lecho inercial transportada por un flujo laminar a turbulento (Miall, 2006). La gradación de tamaño de grano puede reflejar distintas fluctuaciones de corriente en la cresta de una barra (Reading, 2008). La presencia de imbricación en los clastos nos indica que fueron transportados por corrientes de tracción (*bedload*). Probablemente esta facies se depositó en canales fluviales que migraron, controlados por un transporte de carga de fondo (Puy-Alquiza, 2006).

Conglomerado clasto soportado masivo (Gcm)

Descripción: la facies Gcm (Figura 5.10. B) corresponde a conglomerados clasto soportados de color pardo rojizo y pardo violeta; masivos, irregulares y puntualmente lenticular (Figura 5.10. H); dispuestos en estratos de algunos metros de espesor, con selección pobre a moderada. La matriz es de tamaño arena fina-media a gruesa, compuesta principalmente de cuarzo, feldespatos y líticos, en algunos casos predominan los feldespatos (plagioclasa). Los clastos son subredondeados a redondeados, cuya composición es principalmente volcánica (andesitas > dacitas) y en menor proporción de areniscas, con tamaños que varían entre 0.5 cm a 15 cm. Comúnmente en contacto erosivo con facies Sm.

Interpretación: la facies Gcm sugieren flujos acuosos tractivos (Reading, 2008) u originadas por flujos de detritos pseudoplásticos de baja resistencia (Miall, 2006), los cuales pueden relacionarse con una elevada descarga de sedimentos y agua con un rápido transporte y deposición (Horton y Schmitt, 1996). Los conglomerados clastos soportados

masivos pueden asociarse a depósitos de flujos en manto en la porción alta de un abanico aluvial (Boggs, 2006).

Brecha matriz soportada masiva (Bmm)

Descripción: la facies Bmm (Figura 5.10. C) corresponde a brecha matriz soportada de color pardo grisáceo y pardo violeta, masivas e irregulares, puntualmente acanalada dispuesta en estratos de algunos metros de espesor, con una selección moderada. La matriz es de tamaño arena media a gruesa, compuesta por cuarzo, plagioclasa y líticos probablemente volcánicos. Los clastos van desde sub angulosos a angulosos, los cuales están compuestos principalmente por rocas volcánicas (andesitas > dacitas), con tamaños que varían entre 0.5 a 10 cm. Localmente contiene restos fósiles de maderas silicificadas.

Interpretación: la facies Bmm evidencia una proximidad a la fuente, debido a la angularidad de los clastos y a la fábrica matriz soportada, sugieren un escaso transporte y selección. Por lo que podrían interpretarse como depósitos acumulados en taludes a los pies de relieves empinados (Reading, 2008). Las características descritas anteriormente, son comunes en flujos de detritos de alta energía muy proximales a la fuente (Steel, 1974; Tanner y Hubert, 1991; Boggs, 2006). Las formas acanaladas sugieren el depósito del material por un flujo de agua efímero o perenne con capacidad erosiva (Einsele, 1992), vinculándose a flujos de detritos.

Brecha clasto soportada masiva (Bcm)

Descripción: la facies Bcm (Figura 5.10. D) corresponde a una brecha clasto soportada de color pardo grisáceo, masiva e irregular, dispuesta en un estrato de aproximadamente 2.0 m de espesor, con una selección moderada. La matriz es de arena media a gruesa, compuesta de cuarzo, plagioclasa y líticos no identificables, pero probablemente volcánicos. Los clastos van desde subangulosos a angulosos, los cuales están compuestos principalmente por rocas volcánicas (andesita y dacita) y en menor proporción de areniscas finas, con tamaños que varían entre 0.5 a 10 cm.

Interpretación: esta facies se asocia a un sistema aluvial cercano a un paleorelieve prominente (Tanner y Hubert, 1991). Por lo tanto, estos depósitos sugieren un talud donde se acumula el material directamente al pie de un alto topográfico pronunciado. Además,

estas brechas pobremente seleccionadas y sin estratificación pueden asociarse a flujos de detritos (Boggs, 2006), sin embargo, también pueden estar asociadas a depósitos proximales de flujos en manto. La angularidad de los clastos podría indicar poco transporte o una fuente de material muy cercano.

Arenisca de grano medio a grueso masiva (Sm)

Descripción: la facies Sm (Figura 5.10. E) corresponden a areniscas clasto soportada de grano medio a grueso, de color pardo verde grisáceo, pardo marrón, pardo amarilla y gris oscuro, masivas y con arquitectura irregular a tabular, que varían de algunas decenas de centímetros de espesor. Los granos están compuestos de cuarzo, feldespatos y líticos volcánico, predominando, ocasionalmente, los cristales de plagioclasa, que van desde subredondeados a redondeados, con buena selección. En algunos casos, esta facies forma estructura lenticular (Figura 5.10. F). De manera puntual, presenta madera fósil de unos 40 cm de largo. Esta facies por lo general se encuentra en contacto o se asocia a la facies Gmm y Fm.

Interpretación: esta facies puede presentarse en diversos ambientes, pero principalmente en fluviales o aluviales, por lo que dependen del contexto. Los estratos o capas irregulares masivas ocurren, comúnmente, hacia la base de cuerpos de canales (McCabe, 1977). El tamaño de grano y estructura maciza, representa sedimentos transportados en suspensión, sostenidos por turbulencia y acumulados durante condiciones de alta descarga en la cual los sedimentos no pueden generar estructuras de orden interno (Smith y Lowe, 1991). Por otra parte, las areniscas masivas también pueden formarse por la obliteración de estructuras primarias relacionada con una intensa bioturbación (Miall, 2006). La facies Sm pueden formarse por la deposición de flujos gravitacionales de sedimentos (Miall, 1978, 2006) o por flujos hiperconcentrados subaéreos de suspensión turbulenta con tiempo insuficiente para el desarrollo de formas de lecho (Smith, 1986).

Areniscas grano fino a muy fino y lutitas masivas (Fm)

Descripción: la facies Fm (Figura 5.10. F) corresponde a areniscas de grano fino a muy fino y lutitas masivas, con estructuras irregulares a tabulares, de color gris oscuro, gris claro, pardo marrón, pardo rojizo y pardo grisácea, formando estratos de unas decenas de centímetros a unos pocos metros de espesor. Ocasionalmente presenta flora fósil correspondiente a los géneros: *Asterotheca*, *Dictyophyllum*, *Dicroidium*, *Pseudoctenis* y *Pterophyllum*. Por lo general, esta facies se asocia o está en contacto con la facies Gmm, Sm y Fl.

Interpretación: esta facies se encuentra entre sucesiones de grava y arena, como niveles de unos milímetros a unos pocos centímetros (Miall, 1977), representando depósitos de llanura de inundación y abandono de canales en sistemas fluviales y aluviales (Selley, 2000; Miall, 2006; Nichols, 2009). Además, las areniscas de grano fino a muy fino pueden representar procesos de decantación, y a su vez, pueden ocurrir dentro de canales en la parte más distal de abanicos aluviales, como agregados de material muy fino transportados como carga (Ekes, 1993), por lo que este material fino, se asocia a depósitos de llanuras de inundación en las partes distales del abanico (Reading, 2008).

Areniscas grano fino a muy fino con laminación paralela (Fl)

Descripción: la facies Fl (Figura 5.10. G) corresponde a areniscas de grano fino a muy fino, dispuestas en capas tabulares con desarrollo de laminación paralela, de color gris oscuro y pardo rojizo, dispuestas en estratos de unos centímetros de espesor. Se encuentra asociada a la facies Fm, presentando entre ellas contactos netos.

Interpretación: esta facies sugiere el depósito de material fino en suspensión en un ambiente de baja energía por decantación o tracción-decantación, ya sea en lagos extensos en una llanura de inundación, en llanura aluvial o en canales abandonados tales como los lagos semicirculares o meandros abandonados (Miall, 1977; Miall, 2006; Reading, 2008).

Tabla 2. Descripción e interpretación de litofacies sedimentarias para los estratos portadores de flora fósil en la Quebrada Pan de Azúcar, Formación Agua Chica.

Código	Litología	Descripción	Interpretación
Gmm	Conglomerado	Conglomerado matriz soportado, masiva e irregular, moderada a pobremente seleccionada, con clastos subredondeados a redondeados y tamaños que van desde gránulos a cantos.	Flujo de detritos plástico (alta resistencia, viscoso) desarrollados en condiciones subaéreas a subacuáticas.
Gcg	Conglomerado	Conglomerado clasto soportado, crudamente estratificado, gradación inversa e imbricación incipiente de clastos, moderada a pobremente seleccionada, con clastos subredondeados a subangulosos y tamaños que van desde guijarros a cantos.	Flujo de detritos pseudoplástico de baja resistencia
Gcm	Conglomerado	Conglomerado clasto soportado, masiva e irregular, de manera puntual se desarrolla como lente, son moderadamente seleccionados, con clastos subredondeados a redondeados y tamaño guijarro.	Flujo de detritos pseudoplástico, flujos hiperconcentrado (carga inercial, flujo turbulento)
Bmm	Brecha	Brecha matriz soportada, masiva e irregular, selección moderada, con clastos subangulosos a angulosos, tamaño guijarro. Localmente contiene tronco fósil.	Flujo de detritos plástico de alta resistencia
Bcm	Brecha	Brecha clasto soportada, masiva e irregular, selección moderada, con clastos subangulosos a angulosos, tamaño guijarro.	Flujo de detritos plástico depositado en condiciones subaéreas
Sm	Arenisca	Arenisca media a gruesa, masiva, irregular a tabular, en algunos casos desarrolla estructura lenticular y localmente contiene tronco fósil.	Flujo gravitacional de sedimentos; flujo hiperconcentrado
Fm	Arenisca fina a muy fina y lutita	Arenisca grano fino a muy fino y lutitas, masiva, irregular a tabular, localmente contiene plantas fósiles.	Deposición por suspensión; depósitos de abandono de canal; llanura de inundación
Fl	Arenisca fina a muy fina	Arenisca grano fino a muy fino, tabular y desarrollo de laminación paralela	Planicie de inundación, canales abandonados o depósitos de inundación

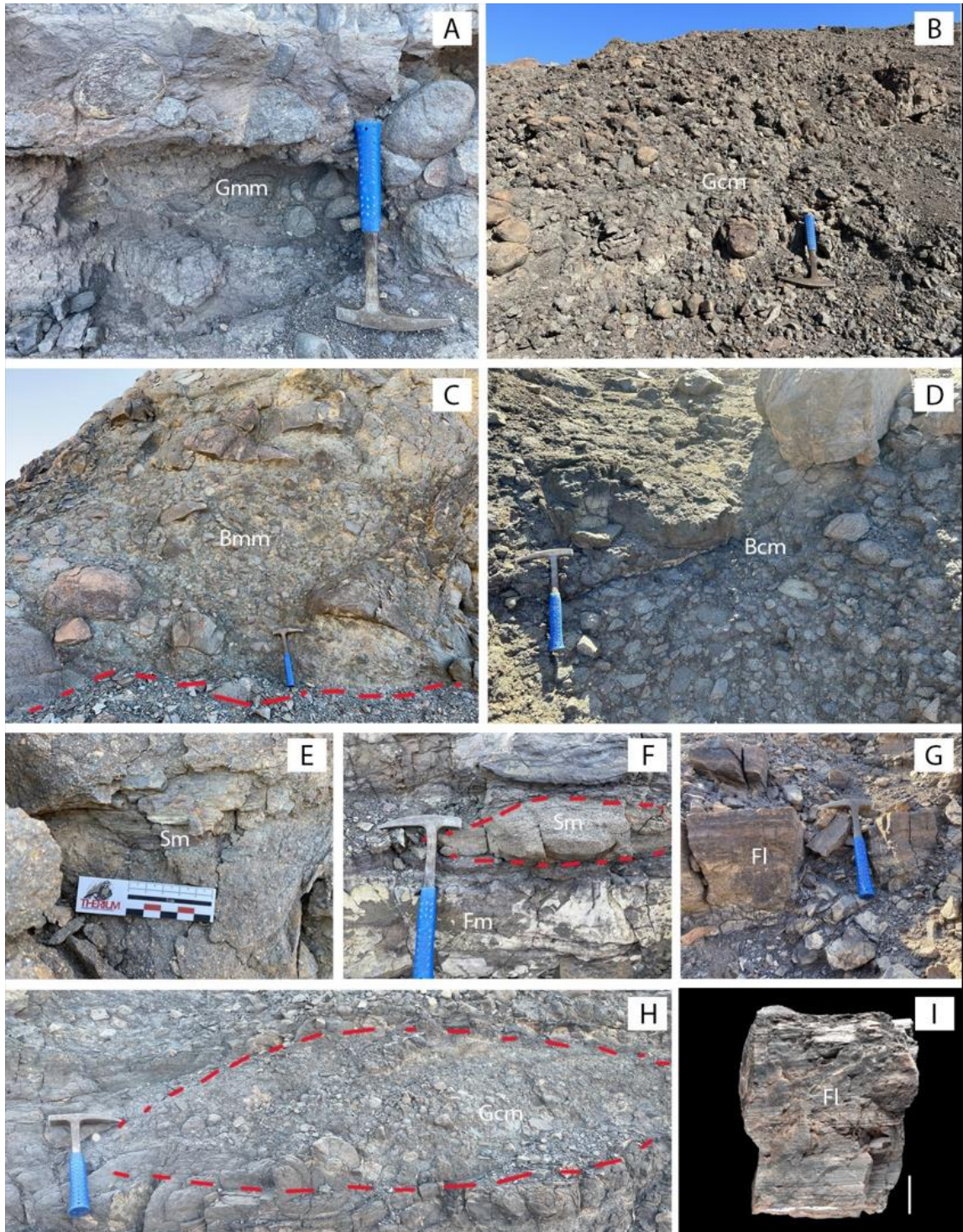


Figura 5.10. Litofacies sedimentarias presentes en este estudio. A. Facies de conglomerado masivo matriz soportada (Gmm). B. Facies de conglomerado clasto soportado masivo (Gcm). C. Facies brecha matriz soportada masiva (Bmm), se muestra la arquitectura acanalada. D. Facies brecha clastos soportada masiva (Bcm). E. Facies arenisca media a gruesa masiva (Sm). F. Facies arenisca muy fina a fina masiva (Fm), sobre esta con arquitectura lenticular se encuentra la facies Sm. G. Facies arenisca fina a muy fina con laminación paralela (Fl). H. Lente de Gcm. I) Facies Fl en detalle; la escala representa 2 cm.

5.1.2 Litofacies volcánica

Aglomerado masivo (Agm)

Descripción: la litofacies Agm (Figura 5.11. A) corresponde a aglomerados volcánicos compuestos principalmente de andesita y dacita inmersos en una masa fundamental afanítica con cristales de plagioclasa, dispuestas de manera irregular, masiva y caótica, y en estratos de algunos metros de espesor, además, presentan una pobre a moderada selección. De manera puntual, se desarrolla gradación normal. Son de color pardo grisáceo, pardo verde grisáceo, pardo violeta y pardo violeta grisáceo. Sus bombas son subredondeadas a redondeadas con tamaños entre 6 mm a 40 cm. Por lo general, los límites son irregulares y erosivos sobre facies Sm, Fm y Fl. Presenta de manera puntual, maderas fósiles silicificadas.

Interpretación: esta litofacies se puede interpretar como el cuerpo de una corriente de densidad piroclástica depositada bajo un límite de flujo dominado por un régimen de escape de fluidos o dominado por flujos granulares. Además, la pobre selección y el aspecto macizo sugieren la acción de procesos de depositación por agradación progresiva rápida a partir de corrientes de densidad piroclástica de alta concentración (Branney y Kokelaar, 2002). La gradación normal de manera puntual, puede indicar el resultado de una disminución en la competencia de la corriente que se desacelera con el tiempo. Este tipo de facies, tienden a desarrollarse en zonas proximales a los bordes de caldera, o se sugiere que se formó por un flujo piroclástico denso en zonas muy proximales del área fuente (Druitt *et al.*, 1989; Mellors y Sparks, 1991).

Brecha de andesitas y dacitas (Br)

Descripción: la litofacies Br (Figura 5.11. B) corresponde a brechas volcánicas intermedias (andesitas y dacitas), dispuestas de forma irregular y masiva, en estratos de unos metros de espesor. Son de color pardo grisáceo y pardo violeta. Sus bloques son subangulares a angulares, y en menor medida subredondeadas, inmersas en una masa fundamental afanítica con cristales de plagioclasa. Principalmente presentan una fábrica clasto soportada y puntualmente, varían a matriz soportada y van desde pobre a moderadamente seleccionada. Presenta de manera puntual, maderas fósiles silicificadas.

Interpretación: esta facies registra la fragmentación subaérea de flujos de lava de composición intermedia (Espinoza *et al.*, 2019). Los bloques pueden derivarse por eventos como erosión o colapso del conducto eruptivo y/o de las chimeneas, avalanchas de la corriente piroclástica y erosión del sustrato por el flujo (Branney y Kokelaar, 2002). Se interpretan como facies proximales asociadas a un volcanismo intermedio explosivo, precursor de corrientes de densidad piroclásticas de alta energía. La estructura maciza y mala selección de la brecha señala al escape de fluidos como control deposicional dominante (Branney y Kokelaar, 2002; Sulpizio y Dellino, 2008).

Andesitas y dacitas coherentes (cA y cD)

Descripción: esta litofacies corresponde a estratos masivos, poco vesiculados con texturas porfíricas presentando fenocristales de grano medio de plagioclasa + anfíbol (andesitas), insertos en una masa fundamental afanítica con cristales de plagioclasa. Presentan restos maderas fósiles silicificadas de tamaño variable (Figura 5.11. C y D).

Interpretación: esta facies corresponde a flujos de lava de composición intermedia originados en condiciones subaéreas (Stewart y McPhie, 2003). La primera formación de fenocristales es debido a un enfriamiento lento, seguida por una rápida nucleación y escaso crecimiento producto de un enfriamiento rápido en un ambiente volcánico efusivo o subaéreo.

Tabla 3. Descripción e interpretación de litofacies volcánica para los estratos portadores de flora fósil en la Quebrada Pan de Azúcar, Formación Agua Chica.

Código	Litología	Descripción	Interpretación
Agm	Aglomerado	Roca volcánica con matriz a clasto soportado de mala a moderada selección, con fragmentos subredondeados a redondeados polimodales mayores a 64 mm.	Facies gruesas producto de un flujo piroclástico de alta energía, originado por un volcanismo explosivo de ambiente subaéreo.
Br	Brecha	Roca volcánica clasto soportado a matriz, pobre a moderada selección, con fragmentos subangulosos a angulosos mayores a 64 mm.	Depósitos de bloques producto de erupciones explosivas y flujo proximal a un volcanismo explosivo de ambiente subaéreo.
cA y cD	Andesita/Dacita	Flujos de lava coherente, con textura afanítica y porfírica.	Flujo de lava intermedia subaérea.



Figura 5.11. Facies volcánicas presentes en este trabajo. A. Litofacies de aglomerado masivo (Agm). B. litofacies de brecha de andesitas y dacitas (Br). C. Litofacies dacita coherente (cD), presenta resto fósil de madera silicificada. D. Litofacies andesita coherente (plagioclasa > cuarzo) (cA), presenta resto de madera fósil silicificada. E. Litofacies cD (cuarzo > plagioclasa) en detalle. F. Nivel de sílice de color rojo (jaspe).

5.1.3 Icnofacies

Según Buatois *et al.* (2002), las “icnofacies” son “un conjunto de trazas que indican determinados parámetros ambientales, tales como salinidad, batimetría y tipo de sustratos, entre otros”.

A partir del estudio taxonómico de las trazas fósiles descritos en el capítulo anterior, algunas presentan similitudes a los icnotaxones pertenecientes a la icnofacies *Mermia*. Esta icnofacies se caracteriza por el dominio de trazas de pastoreo y alimentación horizontales a subhorizontales producidas por detritívoros móviles, la presencia subordinada de trazas de locomoción, icnodiversidad alta a moderada y patrones de pastoreos poco especializados (Buatois *et al.*, 2008). Los componentes típicos de esta icnofacies incluyen una variedad de trazas de pastoreos no especializados: *Mermia*, *Gordia*, *Helminthopsis*, *Helminthoidichnites* y *Cochlichnus*; estructuras simples de alimentación como: *Treptichnus* y *Circulichnus*; trazas de locomoción como: *Maculichna* y pistas de peces como: *Undichna* (Buatois y Mángano, 2004). Los icnotaxones en este estudio presentan algunas similitudes y se asignan tentativamente a *Cochlichnus*, *Helminthoidichnites*, *Treptichnus* y *Rhizocorallium*; predominando las trazas de pastoreos no especializados, por esta razón se le asocia a la icnofacies *Mermia*. Este tipo de icnofacies tipifica sedimentos de grano fino y se desarrolla en zonas bien oxigenadas, de baja energía y subácueas en ambientes lacustres, incluyendo lagos de llanura aluvial y la parte de agua dulce de los fiordos (Buatois y Mángano, 1995; 1998; 2002; 2003).

5.2 Asociaciones de facies

Se realizó la agrupación de las diferentes litofacies, basado en la superposición vertical y sus relaciones ambientales (genéticas) de las cuales se identifican y describen 4 asociaciones de facies (ver Tabla 4). A partir de las columnas estratigráficas anteriormente descritas, es posible realizar una correlación litoestratigráfica basadas en las similitudes litológicas presentes en el área de estudio (Figura 5.12).

Asociación de Facies AF1: Flujo de Detritos (*debris flow*; Gmm, Gcg, Gcm, Bmm, Bcm, Sm)

Este conjunto de facies está representado principalmente por facies gruesas, correspondiente a conglomerados (Gmm, Gcm) y brechas masivas (Bmm, Bcm), en casos puntuales por conglomerado con gradación (Gcg) y areniscas medias a gruesas masivas (Sm). Las facies Gmm, Gcm, Bmm y Bcm se generan por procesos de remoción en masa en flujos de detritos, en condiciones subaéreas. Las facies Gmm y Bmm se asocian a flujos más viscosos (plásticos), mientras que Gcm y Bcm se asocian a flujos turbulentos (pseudoplásticos). La asociación de la facies Sm y Gmm se interpreta como flujos gravitatorios (Einsele, 1992; Miall, 2006; Nichols, 2009). Debido a la ausencia de rasgos marinos o lacustres, así como fósiles subacuáticos, se puede interpretar que esta asociación corresponde a la porción proximal a intermedia de abanicos aluviales (Nemec y Steel, 1984; Blair y McPherson, 1994; Reading, 2008).

Asociación de facies AF2: Flujos Canalizados (*channelized flows*; Gcm, Sm, Fm)

Esta asociación de facies está representada por rocas sedimentarias compuestas de conglomerados clasto soportado (Gcm) y areniscas tamaño medio a grueso (Sm), mayoritariamente son de aspecto masivo, subordinadamente se observa geometrías lenticulares a tabulares. Esta asociación representa la deposición de canales y/o barras longitudinales (Gcm) y flujos de sedimentos por gravedad (Sm) en los lóbulos activos de los sedimentos aluviales (Selley, 2000; Miall, 2006; Nichols, 2009). Los depósitos de Sm representarían las secciones intermedias a distales, mientras que la Fm, representa la parte más distal, dentro de un abanico aluvial o bien, dentro de un sistema fluvial (Nichols, 2009; Selles *et al.*, 2015); la geometría tabular y la estructura masiva de los depósitos

ocurren hacia la base de los cuerpos de arena de canal y se atribuyen a la rápida sedimentación asociada a una alta concentración de sedimentos, interpretándose como sedimentación de flujos no confinados durante inundaciones (Reading, 1996; Castillo, 2021). Los sedimentos de Gcm podrían ser asociados también a eventos de progradación en secciones intermedias dentro de un sistema aluvial debido a flujos de sedimentos por gravedad (Reading, 1996; Selles *et al.*, 2015).

Asociación de facies AF3: Llanura de inundación (*floodplain*; Fm, Fl)

Esta asociación de facies está compuesta por rocas sedimentarias de granulometría fina, mayoritariamente son de aspecto masivo y subordinadamente se observa laminación paralela. Los materiales finos asignados lutitas masivas (Fm), se encuentran en capas de espesores centimétricos tabulares, cuya sedimentación es asociada a desbordamientos al interior de canales, en secciones distales o como agregado fino en carga de fondo (Ekes, 1993 en Reading, 1996). Las areniscas finas a muy finas pueden ser el resultado de una rápida sedimentación por inundación (Reading, 1996), siendo en esta litología donde se ha preservado la flora fósil. El desarrollo de laminación, representa la depositación del material en suspensión por corrientes de tracción débil (Miall, 2006). Estas facies representan depósitos de llanura de inundación y abandono de canales en sistemas fluviales y aluviales (Selley, 2000; Miall, 2006; Nichols, 2009).

Asociación de facies AF4: Flujo de lava intermedia subaérea (Agm, Br, cD)

Esta asociación de facies está compuesta por aglomerados, brechas volcánicas y lavas intermedias coherentes, son de geometría gruesas macizas y contactos irregulares, de algunos metros de espesor, en general carecen de estructura interna (arreglo interno caótico). Dominan composiciones andesíticas y dacíticas. Las bombas o bloques con aristas más redondeadas sugieren un cierto grado de retrabajo, por lo que algunos niveles constituyen productos de removilización y resedimentación temprana por gravedad (Francis *et al.*, 1974; Hoblitt y Kelloggs, 1979; Smith, 1986; Arguden y Rodolfo, 1990, Smith y Lowe, 1991; McPhie *et al.*, 1993; Vallance, 2000). Este tipo de facies se pueden interpretar como depósitos de bloques y cenizas producto de erupciones explosivas y flujo proximal y depósitos de removilización gravitacional y resedimentación temprana como avalanchas de escombros (Astini *et al.*, 2017). Esta facies volcánica intermedia,

corresponden a flujos originados bajo condiciones subaéreas (Stewart y McPhie, 2003). De manera puntual, presenta restos de maderas fósiles silicificadas.

Tabla 4. Códigos de asociación de facies definidas en este estudio para la Formación Agua Chica.

Tipo	Ambiente deposicional	Asociación de facies	Código	Litofacies
Sedimentaria	Abanico Aluvial	Flujo de Detritos	AF1	Gmm, Gcg, Gcm, Bmm, Bcm, Sm
	Fluvio-Aluvial	Flujos Canalizados	AF2	Gcm, Sm, Fm
	Fluvio-Aluvial	Llanura de Inundación	AF3	Fm, Fl
Volcánica	Volcanismo Intermedio	Flujo de lava intermedia subaérea	AF4	Agm, Br, cA, cD

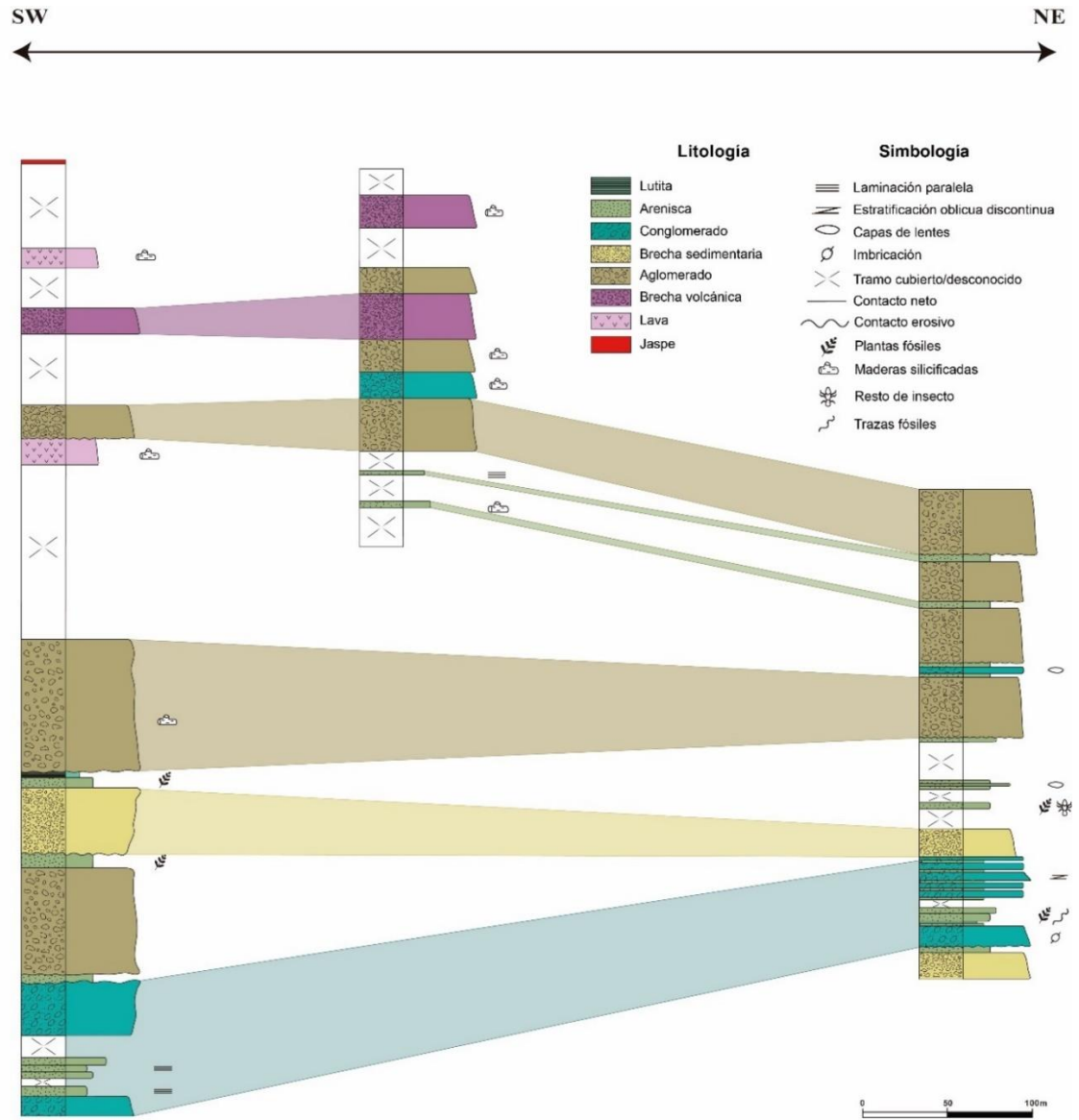


Figura 5.12. Correlación estratigráfica del sector este de la Formación Agua Chica.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

Los únicos registros previos de macrofósiles en la Formación Agua Chica, fueron descritos por Bebiolka (1999). La identificación de estos taxones corresponde a *Asterotheca* cf. *rigbyana*, *Dicroidium zuberi*, *Dicroidium odontopteroides*, *Dejerseyia* sp., *Pseudoctenis* sp., *Taeniopteris anavolans*, *Taeniopteris cyclomeiformis*, y *Taeniopteris* sp. La especie *Asterotheca* cf. *rigbyana* descrita por Bebiolka, coincide con las características de la especie acá descrita (Figura 4.1. B), como en el ancho del raquis, tamaño de las pínulas y en el ángulo en el que las venas laterales se ramifican hacia los bordes. Además, se cuenta con el número de venas por hemilámina, por lo que se puede asignar con más seguridad a *Asterotheca rigbyana*, completando el conocimiento de este taxón para la Formación Agua Chica. Bebiolka asigna la muestra W4/16a (Abb.3.4) como *Dicroidium* aff. *odontopteroides*, las características morfológicas observadas como, pínulas ligeramente falcadas, la presencia de una vena media de la cual emergen venas laterales dicotómicas, se asemejan a *Asterotheca fuchsi*, por lo que el material se reasigna a esta especie. Respecto a *D. odontopteroides* forma *odontopteroides* que asigna Bebiolka a la muestra W46-49 (Abb.4.4), con base en las características morfológicas como, pínulas separadas entre sí, unidas al raquis con toda la base, pudiendo ser simétrica o asimétrica y venas secundarias dicotómicas formando un ángulo agudo respecto a la vena media. Los caracteres mencionados se asemejan más bien a lo descrito en este trabajo para la especie *Kurtziana paipotensis*, por lo que se podría asignar a esta especie. Dentro de las cicadófitas, Bebiolka publica un *Pseudoctenis* sp. (muestra W4/15; Abb.5.3) con las siguientes características morfológicas: “*hoja grande y simplemente pinnada, alargadas, opuestas y estrechas, están unidas al raquis con una base ancha y un ángulo de 45°. Son enteras y de lados paralelos. Faltan los ápices y las venas laterales no están bifurcadas*”. Debido a la mala preservación del fósil y a la falta de uno de los caracteres diagnósticos, como la presencia de ala laminar en la base, además de contar con venas laterales simples, no se puede descartar que pueda ser asignado al género *Pterophyllum*. Las características morfológicas descritas anteriormente, no coinciden con las especies de *Pseudoctenis* descritas en este trabajo (Figura 4.2. D y E). Dentro de los *incertae sedis*, se describe *Taeniopteris anavolans*, coincidiendo con la especie descrita por Bebiolka, con base en el

ángulo en el que están dispuestas las venas laterales, los márgenes algo ondulados y la densidad de venación.

Los taxones correspondientes a *Dicroidium zuberi*, *D. odontopteroides* y *Dejerseya* sp., no fueron hallados en las expediciones realizadas en esta investigación. Sin embargo, se describen nuevos taxones para la Formación Agua Chica, como *Asterothea fuchsi*, *Cladophlebis mesozoica*, *Cladophlebis* sp., *Dictyophyllum* cf. *tenuifolium*, *Dictyophyllum* sp., *Dicroidium* cf. *lancifolium*, *Pseudoctenis* cf. *longipinnata*, *Pseudoctenis* cf. *carteriana*., *Kurtziana cacheutensis*, *Kurtziana* cf. *paipotensis*, *Pterophyllum* sp.A, *Pterophyllum* sp.B, y diversas formas de *Taeniopteris*, como *T.* cf. *anavolans*, *T.* cf. *densinervis*, *T.* cf. *lutzae*, *T.* cf. *homerifolius*, *T. magnifolia* y *T. vittata*.

Mercado (1980) le asigna una edad Triásico Superior a la Formación Agua Chica con base en las relaciones estratigráficas, mientras que Bebiolka, según los taxones encontrados, le permitió asignar, con mayor precisión, una edad de Triásico Superior. Los antecedentes fosilíferos revisados, que entregan información cronoestratigráfica para la flora fósil de la Formación Agua Chica, permitieron la confección de un biocrón representativo o una biozona de extensión coincidente, y que a su vez, permite asignar una edad de Triásico Tardío, acotándolo al Rhaetiense (Figura 6.1). Además, Espinoza *et al.* (2015), presenta por primera vez una edad radiométrica U-Pb para la Formación Agua Chica, proveniente de un toba, dando una edad de 200.7 ± 2.8 Ma, por lo que la facies continental efectivamente podría haber alcanzado el límite Triásico-Jurásico, lo que coincide con algunas formas de flora que superaron la extinción masiva y que persisten durante el Jurásico (*Cladophlebis*, *Dictyophyllum*, *Pseudoctenis*, *Kurtziana*) y que están presentes en la Formación Agua Chica.

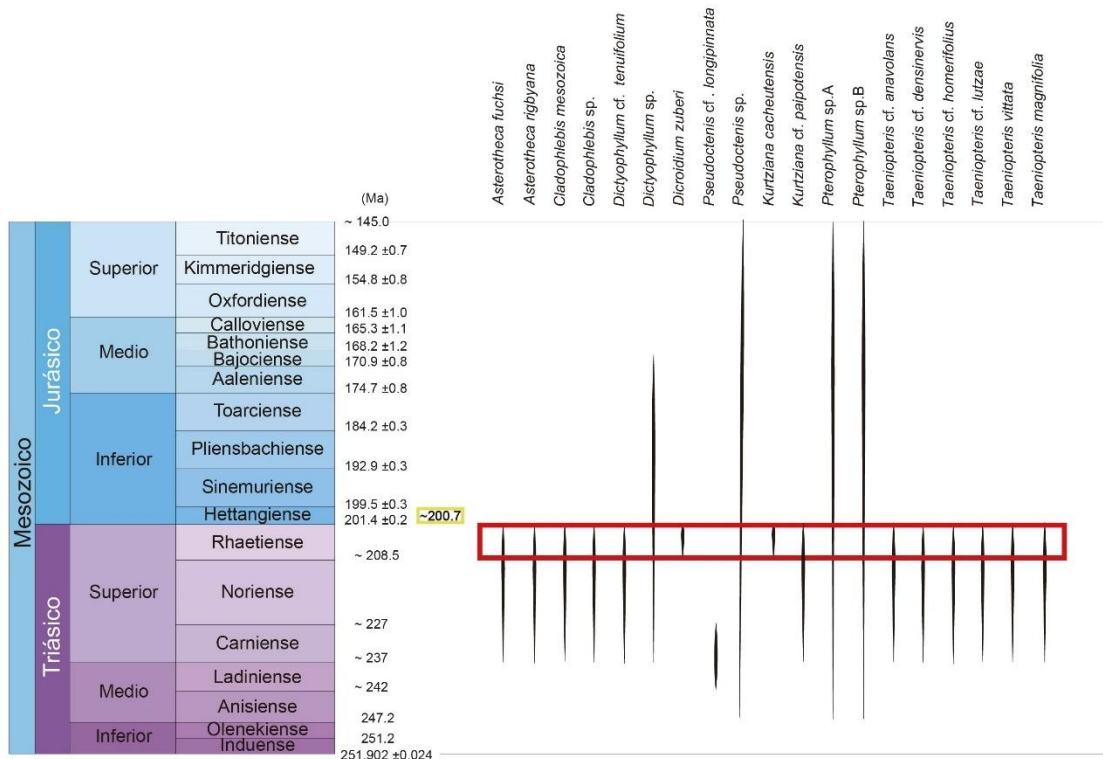


Figura 6.1. Biocronología de las especies descritas para la Formación Agua Chica, que permite asignarla a una edad Rhaetiense. En amarillo se encuentra la edad radiométrica (Espinoza *et al.*, 2015), mientras que en rojo se destaca biozona de extensión coincidente. Registros extraídos de Herbst *et al.*, 1998 y 2005; Herbst, 2000; Gnaedinger y Herbst, 2001 y 2005; Leppe, 2006; Morel *et al.*, 2010 y 2015; Moisan *et al.*, 2010; Herbst y Troncoso, 2012)

Respecto al ambiente deposicional, Suárez y Bell (1985) indican que la evolución “andina” en la zona, comienza durante el Triásico Tardío con la acumulación de potentes depósitos aluviales, asociados a vulcanismo andesítico, representados por las formaciones Cifuncho y Agua Chica. Estas rocas incluyen brechas volcánicas y conglomerados de hasta 20 m y una secuencia de lacas andesíticas de unos 150 m de espesor (Mercado, 1980), las cuales representan depósitos aluviales proximales. Las brechas volcánicas son rocas desorganizadas, mal seleccionadas y con muy poca matriz, con clastos derivados de las rocas metasedimentarias y graníticas paleozoicas de hasta 2 m de diámetro y representarían depósitos de flujos de detritos, probablemente formados en los flancos de un volcán activo (Suárez y Bell, 1985). Importante mencionar que, lo descrito anteriormente, corresponde a la parte oeste de la Formación Agua Chica, en la Quebrada Las Chilcas, que no ha sido objeto de este estudio. Sin embargo, en esta investigación y tras la interpretación de las asociaciones de facies identificadas en la sección fosilífera que

se encuentra en el límite este de la Formación Agua Chica, se puede señalar que la litología predominante, corresponde a areniscas finas a muy finas masivas, las que representarían depósitos de llanura de inundación con abundante flora fósil, en una parte más distal dentro de un abanico aluvial. También se observan conglomerados y brechas masivas, con bases erosivas, las que han sido interpretadas como flujos de detritos, en una parte más proximal dentro de un abanico aluvial. Las superficies de acreción bien desarrolladas como *points bars* están ausentes, lo que sugiere que no se desarrolló una sedimentación fluvial madura como meandros (Williamson y Bell, 1994). Sin embargo, la escasa presencia de estructuras lenticulares en areniscas medias a gruesas y conglomerados, podrían indicar un desarrollo de canales efímeros en superficies de abanicos aluviales. En regímenes de gran caudal, pueden acumularse depósitos de inundación por desbordamientos, y las areniscas finas y masivas registran este tipo de eventos (Bown *et al.*, 2009). Además, la presencia de la icnofacies *Mermia*, implica que en el ambiente de formación del depósito debió existir una acumulación de detrito orgánico en el sedimento, bajo condiciones de energía baja a moderada, lo que permite el desarrollo de detritívoros y la abundancia de trazas horizontales. Asimismo, se ha relacionado esta icnofacies con una estabilidad ambiental y tasas de sedimentación de baja a moderada, o sedimentación episódica, como ocurre durante las tormentas (Buatois y Mángano, 2008). Lo anterior coincide con el ambiente deposicional que se ha propuesto para los afloramientos portadores de flora fósil. Por otra parte, la presencia de clastos compuestos predominantemente por andesitas y dacitas, sugieren un retrabajo de este material por procesos sedimentarios convencionales. Mientras que la presencia de aglomerados y brechas volcánicas intermedias, pueden derivarse por eventos como erosión o colapso en zonas proximales a los bordes de caldera o por avalanchas de corrientes piroclásticas (Branney y Kokelaar, 2002). La presencia de lavas intermedias es originada en condiciones subaéreas (Stewart y McPhie, 2003) interpretadas como coladas de lavas. La presencia de estas litofacies de manera intercalada y desordenada coinciden con lo mencionado por Suárez y Bell (1985; 1992), sugiriendo que los depósitos de abanicos aluviales indican la existencia de tectonismo activo durante la sedimentación, por lo que las interpretaciones aquí descritas, complementarían el paleoambiente desarrollado durante el Triásico Tardío para la Formación Agua Chica.

En cuanto al paleoclima, durante el Triásico la disposición de las masas continentales coalescentes, junto con un elevado nivel global del mar, provocó en el clima global, el desarrollo de una fuerte estacionalidad en las latitudes más bajas (Parrish, 1993; Sellwood y Valdés, 2006; Holz, 2015) y el desplazamiento del cinturón árido hacia los polos, lo que provocó una disminución significativa de la tasa de precipitación/evaporación en las regiones interiores de Pangea en las latitudes bajas y medias (Klent y Tauxe, 2005; Sellwood y Valdés, 2006; Boucot *et al.*, 2013). Además, el planeta se encontraba en una fase de efecto invernadero caracterizada por la ausencia de hielo en los polos y elevados niveles atmosféricos de CO_2 (Schaller *et al.*, 2015; Foster *et al.*, 2017). A lo largo del Triásico se reconocen dos provincias florísticas, una en el Hemisferio Sur (Gondwana) y otro en el Hemisferio Norte (Laurasia). Dentro del margen sudoccidental de Gondwana, Artabe *et al.* (2003), con base en estudios de microflora, indicaron un área Extratropical la cual es conocida como “*Flora de Dicroidium*”. En el Hemisferio Sur durante el Triásico Tardío, se estableció un régimen subtropical seco, fuertemente estacional y que configuran un ambiente de carácter semiárido con precipitaciones invernales (Tanner, 2000; Spalletti *et al.*, 2003; Ezequiel *et al.*, 2022). Anderson y Anderson (1983) sitúan climáticamente a Chile en el Cinturón Costero SW definido por un invierno templado lluvioso y un verano cálido y húmedo, con vientos que provienen del oeste conduciendo aire marino tierra adentro. Según Artabe *et al.* (2001) las paleofloras del Triásico estarían ligadas al desarrollo de un clima seco estacional, con la consiguiente diversificación de las gimnospermas (corystospermas, coníferas y cicadales), las que se caracterizaron por desarrollar estrategias adaptativas (Wing y Sues, 1992). Algunos de los géneros presentes en la Formación Agua Chica, conformaron paleocomunidades herbáceas-arbustivas constituido por *Asterotheca*, *Cladophlebis*, *Kurtziana*, *Dicroidium* y *Taeniopteris*, lo que indica buena disponibilidad de agua, y se habrían desarrollado en un clima subtropical estacional (Lutz *et al.*, 2011). Respecto a las cicadófitas, Artabe *et al.* (2001) indican que las morfologías foliares tipo *Cycas*, como *Pterophyllum*, estarían preadaptadas a climas cálidos a subtropicales. Mientras que, Banerji (2004), considera a *Pterophyllum* una planta de vegetación exuberante húmeda, tanto como de vegetación xeromórfica de bosques de áreas más secas en tierras altas interiores. Además, Suárez y Bell (1987), quienes han realizado varios estudios en distintas formaciones triásicas y cretácicas en la

región de Atacama, señalan que la presencia de evaporitas continentales y costeras, junto con una serie distintiva de facies sedimentarias, indica que condiciones semiáridas a áridas prevalecieron en esta área durante el Triásico Superior al Cretácico Inferior. A partir de los antecedentes mencionados, y la abundancia relativa de pteridófitas (helechos), *incertae sedis* (*Taeniopteris*) y cicadófitas en la Formación Agua Chica, son coincidentes en señalar un clima subtropical con al menos una estación de sequía y un ambiente mesomórfico.

Considerando la paleoflora en su conjunto, y comparándola con resultados obtenidos de otras paleofloras de formaciones triásicas del norte de Chile, se hallaron mayores semejanzas paleoflorísticas con la Formación Sierra de Varas, Formación Quebrada del Salitre y Formación La Ternera (ver Tabla 5). La flora fósil de la Formación Agua Chica también se puede comparar y correlacionar con conjuntos paleoflorísticos en Argentina, donde presenta mayor afinidad con la Formación Paso Flores y Formación Cañadón Largo (ver Tabla 6). Además, presenta similitudes con algunos taxones de la Formación Molteno en Sudáfrica (*Dicroidium*, *Kurtziana* y algunas Cicadófitas); de la Formación Blackstone (*Dicroidium* y *Kurtziana*), formaciones Esk y Bryden (Cicadófitas) en Australia; Nueva Zelanda (Formación Long Gully) y Antártica (Formación Lashly y Flagstone Bench), donde se ha registrado el género *Dicroidium*.

Tabla 5. Ocurrencia de los géneros de flora fósil de la Formación Agua Chica con otras formaciones triásicas del norte de Chile. Pu: Formación Pular; Sv: Formación Sierra de Varas; Qs: Formación Quebrada del Salitre; Ci: Formación Cifuncho; Te: Formación La Ternera; Sf: Formación San Félix; Br: Formación Las Breas; Pr: Formación El Profeta. Registro extraído de Herbst *et al.*, 1998 y 2001; Troncoso y Herbst, 1999; Herbst, 2000; Troncoso *et al.*, 2000; Gnaedinger y Herbst, 2001 y 2004; Niemeyer *et al.*, 2008; Herbst y Troncoso, 2012; Magnata *et al.*, 2015.

Género	Fm. Pu (Tr. Medio-Tr. Superior)	Fm. Sv (Noriense-Rhaetiense)	Fm. Qs (Tr. Superior-Je. Inferior)	Fm. Ci (Tr. Medio?- Tr. Superior)	Fm. Te (Noriense)	Fm. Sf (Anisiense-Ladiniense)	Fm. Br (Ladiniense-Tr. Superior)	Fm. Pr (Rhaetiense-Titoniense)
<i>Asterotheca</i>					X	X		
<i>Cladophlebis</i>		X	X	X	X			
<i>Dictyophyllum</i>			X		X	X		
<i>Dicroidium</i>	X	X	X		X	X	X	X
<i>Pseudoctenis</i>	X				X			
<i>Kurtziana</i>	X				X		X	X
<i>Pterophyllum</i>		X	X	X	X			
<i>Taeniopteris</i>		X		X	X		X	

Tabla 6. Ocurrencia de los géneros de flora fósil de la Formación Agua Chica con otras formaciones triásicas de Argentina. Tr: Formación El Tranquilo; Pf: Formación Paso Flores; Cl: Formación Cañadón Largo; Po: Formación Potrerillos; Ca: Formación Cacheuta; Ra: Formación Los Rastros; Lc: Formación Laguna Colorada. Registro extraído de Morel *et al.*, 1992; Zamuner, 2001; Haller, 2002; Spalletti *et al.*, 2005; Lutz *et al.*, 2011.

Género	Fm. Tr (Tr. Superior)	Fm. Pf (Tr. Superior)	Fm. Cl (Ladiniense-Carniense)	Fm. Po (Tr. Medio-Tr. Superior)	Fm. Ca (Tr. Medio-Tr. Superior)	Fm. Ra (Tr. Medio)	Fm. Lc (Noriense)
<i>Asterotheca</i>	X	X	X				
<i>Cladophlebis</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Dictyophyllum</i>		X					
<i>Dicroidium</i>		X	X	X	X	X	X
<i>Pseudoctenis</i>		X					
<i>Kurtziana</i>	X	X		X	X		
<i>Pterophyllum</i>			X				
<i>Taeniopteris</i>		X	X				

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

La clasificación taxonómica para el material paleobotánico de la Formación Agua Chica, consiste en las divisiones Pteridophyta (Orden Marattiales, Osmundales y Filicales), Pteridospermophyta (Orden Corystospermales) y Cycadophyta (Orden Cycadales y Bennetitales) y hojas incertae sedis. Dentro de las Marattiales incluyen las especies *Asterotheca rigbyana*, *Asterotheca* cf. *fuchsi*; en las Osmundales se encuentran las especies *Cladophlebis mesozoica* y *Cladophlebis* sp.; las Filicales contienen las especies *Dictyophyllum* cf. *tenuifolium* y *Dictyophyllum* sp. Dentro de las Corystospermales se tiene la especie *Dicroidium* cf. *lancifolium*. Las Cycadales están representadas por las especies *Pseudoctenis* cf. *longipinnata* y *Pseudoctenis* cf. *carteriana*, también por incertae sedis como las especies *Kurtziana cacheutensis* y *Kurtziana* cf. *paipotensis*. Las Bennettiales están representadas por las especies *Pterophyllum* sp.A y *Pterophyllum*. Sp.B; y por último, las hojas incertae sedis correspondientes al género *Taeniopteris*, incluyen las especies *Taeniopteris* cf. *anavolans*, *T.* cf. *densinervis*, *T.* cf. *homerifolius*, *T.* cf. *lutzae*, *T.* *vittata* y *T magnifolia*.

De un total de 126 ejemplares de impresiones de flora fósil, los grupos que predominan en la Formación Agua Chica son los helechos (51%) como *Asterotheca*, *Cladophlebis* y *Dictyophyllum* y los incertae sedis (29%) representados por *Taeniopteris*; y de manera subordinada se encuentran las cicadófitas (18%) como *Pseudoctenis*, *Kurtziana* y *Pterophyllum*; y los helechos con semillas (2%) representados por *Dicroidium*.

Se registra por primera vez el hallazgo de un insecto fósil, para la Formación Agua Chica correspondiente al Orden Blattodea como Gen. et sp. indet., el cual se encuentra en estudio en colaboraciones con paleoentomólogos, quienes están realizando una revisión de los insectos triásicos de Chile. Además, se registra los primeros hallazgos de trazas fósiles continentales, las cuales serán estudiadas a detalle en futuras investigaciones.

La edad que entrega el análisis paleoflorístico, es del Triásico Tardío, acotándola al Rhaetiense. Además, se cuenta con una edad radiométrica proveniente de una toba con edad 200.7 ± 2.8 Ma. Estos dos datos permiten entregar un rango de edad para la Formación Agua Chica que sería Rhaetiense-Hettangiense.

El ambiente deposicional de la flora fósil estaría dado por un depósito de llanura de inundación, en una sección más distal de un abanico aluvial, con fuerte afinidad volcánica de composición intermedia.

Según datos paleoclimáticos entregados por el análisis paleoflorístico, se define un clima subtropical seco con al menos una estación de sequía y un ambiente mesomórfico.

Los datos paleoflorísticos de la Formación Agua Chica, presentan afinidad con algunas localidades del Triásico Superior del norte de Chile, la cual se puede correlacionar bioestratigráficamente con la Formación Sierra de Varas, Formación Quebrada del Salitre y Formación La Ternera. Mientras que, en Argentina, se puede correlacionar con la Formación Paso Flores y Formación Cañadón Largo. No presenta mucha relación con otras localidades de Gondwana, con excepción de algunos géneros como *Dicroidium*, *Kurtziana* y algunas Cicadófitas presentes en la Formación Molteno, Sudáfrica; Formación Blackestone, Australia; formaciones Esk y Bryden en Nueva Zelanda, y las formaciones Lashly y Flagstone en Antártica.

Se recomienda realizar un estudio estratigráfico general para la Formación Agua Chica, así poder ubicar estratigráficamente la edad radiométrica, además de realizar cortes transparentes a las rocas de las litofacies tanto sedimentarias como volcánicas, con la finalidad de aportar aún más a la historia ambiental del sector. Por otro lado, se recomienda estudiar taxonómicamente las maderas fósiles, realizando cortes transparentes. Asimismo, se recomienda nuevas expediciones al sector de estudio en busca de nuevos hallazgos de restos de insectos y trazas fósiles, con el objetivo de aportar datos nuevos para el margen sudoccidental de Gondwana.

Este trabajo de investigación permitirá justificar la expansión de los límites administrativos del Parque Nacional Pan de Azúcar, y entregarle no solo un valor patrimonial geológico, sino que también, un patrimonio paleontológico al Parque Nacional más visitado del norte de Chile.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson, J. M y Anderson, H. M. 1989. Paleoflora of the Southern Africa, Molteno Formation (Triassic). Vol. 2. Gymnosperms (excluding *Dicroidium*). A. A. Balkema (ed.). Postbus: 567 pp. Rotterdam.

Arche, A. 2010. Sedimentología: Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. A. Arche (ed.). Consejo Superior de Publicaciones Científicas: 1287 pp. Madrid.

Arrondo, O., Morel, E., Ganuza, D., Hervé, F., Parada, M., Muehlebach, W., 1988. La Formación Panguipulli y su contenido paleoflorístico, Chile. In: V Congreso Geológico Chileno, Santiago, Chile, pp. 137–145.

Artabe, A. E.; Morel, E. M. Y Spalletti, L. A. 2001. Paleoecología de las floras triásicas argentinas. El Sistema Triásico de Argentina. A. E. Artabe, E. M. Morel y A. B. Zamuner (eds.). Fundación Museo de La Plata “Francisco Pascasio Moreno”. 365 pp. La Plata.

Artabe, A. E.; Morel, E. M. Y Spalletti, L. A. 2003. Caracterización de las Provincias Fitogeográficas Triásicas del Gondwana Extratropical. *Ameghiniana*. Vol. 40: 387-405. Buenos Aires.

Artabe, A. E.; Morel, E. M.; Ganuza, D. G.; Zavattieri, A. M. Y Spalletti, L. A. 2007. La paleoflora triásica de Potrerillos, provincia de Mendoza, Argentina. *Ameghiniana*. Vol. 44: 279-301. Buenos Aires.

Bell, C. M. Y Suárez, M. 1991. Late Triassic fluvial and marine shelf succession in Quebrada Doña Inés Chica, Atacama Region, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 4: 286-293.

Bodnar, J., Coturel, E.P., Falco, J.I., Beltrán, M., 2021. An updated scenario for the end- Permian crisis and the recovery of Triassic land flora in Argentina. *Hist. Biol.* 33 <https://doi.org/10.1080/08912963.2021.1884245>.

Charrier, R. 1979. El Triásico en Chile y regiones adyacentes de Argentina. *Comunicaciones, Departamento de Geología, Universidad de Chile*. Vol. 26: 1-37. Santiago.

Charrier, R.; Pinto, L. Y Rodríguez, M. P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *The Geology of Chile*. Moreno, T. y Gibbons, W. (eds.). The Geological Society: 395 pp. London

Contreras, J. F. 2014. Estratigrafía de la Formación Sierra de Varas, Cordillera de Domeyko, Región de Antofagasta, entre las coordenadas 7.273.103-7.268.892 m N; 481.320-482.290 m E. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias Geológicas (inédito): 105 pp., Antofagasta.

Espinoza, M., Oliveros, V., Vásquez, P., Bechis, F., 2015. U-Pb geochronology and kinematic preliminary analyses of Late Triassic-Early Jurassic basins in northern Chile (24.5°-26°S). In: XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, Chile, pp. 840–843.

Espinoza, M., Montecino, D., Oliveros, V., Astudillo, N., Vásquez, P., Reyes, R., Celis, C., González, R., Contreras, J., Creixell, C., Martínez, A., 2018. The synrift phase of the early

Domeyko Basin (Triassic, northern Chile): Sedimentary, volcanic and tectonic interplay in the evolution of an ancient subduction-related rift basin. *Basin Res.* 31, 4–32.

Espinoza, M., Oliveros, V., Vásquez, P., Giambiagi, L., Morgan, L., González, R., Solari, L., Bechis, F., 2021. Gondwanan inheritance on the building of the western central Andes (Domeyko Range, Chile): structural and thermochronological approach (U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$). *Tectonics* 40. <https://doi.org/10.1029/2020TC006475> e2020TC006475.

Folk, R. 1968. Petrology of sedimentary rocks. R. Folk (ed.). Hemphill Publishing Company: 170 pp. Austin.

Gamuza, D.G., Zamuner, A.B., Artabe, A.E. y Spalletti, L.A. 1998. Sistemática y Paleoecología de la flora triásica de Agua de Los Pajaritos (Formación El Alcázar), Provincia de Mendoza, Argentina. *Ameghiniana* 35: 271-283.

Gnaedinger, S. y Herbst, R. 1998a. La Flora Triásica del Grupo El Tranquilo, Provincia de Santa Cruz (Patagonia), parte 4: Pteridospermae. *Ameghiniana* 35: 33-65.

Gnaedinger, S. y Herbst, R. 2001. Pteridospermas triásicas del Norte Chico de Chile. *Ameghiniana* 38: 281-298.

Herbst, R. 1971, Paleophytología Kurtziana 3.7. Revisión de las especies argentinas del género *Cladophlebis*. *Ameghiniana* 8: 265-281.

Herbst, R. 2000. Dipteridaceae (Filicales) del Triásico Superior de Chile. *Revista Geológica de Chile* 27: 65-81.

Herbst, R. y Gnaedinger, S., 2002. Kurtziana (Pteridospermae? incertae sedis) y Alicurana nov. gen. (Cycadopsida) del Triásico y Jurásico temprano de Argentina. *Ameghiniana* 39: 331-341.

Herbst, R. y Troncoso, A. 2000. Las Cycadophyta del Triásico de las Formaciones La Ternera y El Puquén (Chile). *Ameghiniana* 37: 283-292.

Herbst, R., Melchor, R. y Troncoso, A. 1998. Las Pteridophyta y el paleoambiente de la parte media de la Formación La Ternera (Triásico Superior) en quebrada La Cachivarita, III Región, Chile. *Revista Geológica de Chile* 25: 85-107.

Herbst, R., Troncoso, A. y Muñoz, J. 2005. Las tafofloras triásicas de la región de los Lagos, X Región, Chile. *Ameghiniana* 42: 377-394.

Herbst, R. y Troncoso, A. 2012. La flora Triásica de la Quebrada Doña Inés Chica, Región de Atacama, Chile. *Gaea, Journal of Geoscience*. Vol. 8 (2): 55-66. San Leopoldo.

Kay, S. M.; Ramos, V. A.; Mpodozis C. y Sruoga P. 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: Analogy to middle Proterozoic in North America?. *Geology*. Vol. 17: 324-328. Boulder.

Kerp, H., Mangerud, G., Gradstein, S.R., 2020. Subchapter 3J – plants, spores and pollen. In: Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M. (Eds.), *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier BV, pp. 109–121.

Kustatscher, E., Ash, S.R., Karasev, E., Pott, C., Vajda, V., Yu, J., McLoughlin, S., 2018. Flora of the Late Triassic. In: Tanner, L.H. (Ed.), *The Late Triassic World*, Topics in Geobiology, 46. Springer, pp. 545–622.

- Leppe, M. y Moisan, P. 2003. Nuevos registros de Cycadales y Cycadeoideales del Triásico superior del Río Bío Bío, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 475-484.
- Leppe, M. 2005. Paleobotánica del Triásico del Valle Inferior del Río Biobío, Región del Biobío, Chile. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias Biológicas Área de Especialización Botánica. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas (inédito): 151 pp. Concepción.
- Leppe, M., Moisan, P., Abad, E. y Palma-Heldt, S. 2006. Paleobotánica del Triásico Superior del valle del río Biobío, Chile: Clase Filicopsida. *Revista Geológica de Chile* 33: 81-107.
- Magnata, V., Valenzuela, K., 2015. Taxonomía y ambiente deposicional de la flora fósil del Triásico Superior de Sierra Áspera, precordillera de Taltal, norte de Chile. Memoria, Universidad Católica del Norte, Chile.
- Magnata, V., Valenzuela, K., Wilke, H.G., González, R., 2015. Taxonomía y ambiente deposicional de la flora fósil del Triásico Superior de Sierra de Argomedo, precordillera de Taltal, norte de Chile. In: XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, Chile, pp. 621–622.
- Mays, C., McLoughlin, S., 2019. Caught between mass extinctions—the rise and fall of *Dicroidium*. *Deposits Magazine* 59, 43–47.
- Mays, C., Vajda, V., Frank, T.D., Fielding, C.R., Nicoll, R.S., Tevyaw, A.P., McLoughlin, S., 2020. Refined Permian–Triassic floristic timeline reveals early collapse and delayed recovery of south polar terrestrial ecosystems. *GSA Bull.* 1322, 1489-1513.
- Melchor, R. 2004. Trace fossil distribution deltas: Examples from the Triassic rift lakes of the Ischigualasto Villa Union Basin, Argentina. doi: 10.1144/GSL.SP.2004.228.01.15
- Miall, A. D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Reviews*. Vol. 22: 261-308.
- Miall, A. D. 2006. *The Geology of Fluvial Deposits*. A. D. Miall (ed.). Springer: 582 pp. Berlin .
- Moisan, P., Abad, E., Bomfleur, B., Kerp, H., 2010. A Late Triassic flora from Gomero (Santa Juana Formation), Chile. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 258, 89–106.
- Moisan, P. 2024. Devonian to Triassic paleobotanical record from Chile: An overview of the micro- and macrofossil record and fossil localities. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.105014>.
- Murphy, M. A., Salvador, A., 1999. International Commission of Stratigraphic Classification-International Commission on Stratigraphy: International Stratigraphic Guide-An abridged versión. *Episodes*, 22(4), 255-271.
- Naranjo, J. A. y Puig, A. 1984. Hojas Taltal y Chañaral, Regiones de Antofagasta y Atacama. 2 mapas, escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile: 140 pp. Santiago.
- Naranjo, J. A.; Puig, A. y Suárez, M. 1982. Nuevos antecedentes estratigráficos del Triásico Superior-Jurásico de la Cordillera de la Costa, sector meridional de la Región de Antofagasta, Chile. Congreso Geológico Chileno, N° 3. Actas 1: 189-206. Concepción.
- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy* (2nd Edition). G. Nichols (ed.). Wiley-Blackwell: 419 pp. West Sussex.

Nielsen, S.N., 2005. The Triassic Santa Juana Formation at lower Biobío River, south central, Chile. *J. South Am. Earth Sci.* 19, 547–562.

Niemeyer, H., Zavattieri, A.M., Ballents, S., Zamuner, A., Gallego, O., 2008. Triassic age of the continental Pular Formation, Sierra de Almeida, Antofagasta, northern Chile. *Revista Geológica de Chile* 35, 147–161. Nogués, A.T., 1983. Le Gisement du Charbon

Oliveros, V.; Valin, X.; Vásquez, P.; Creixell C. Y Vallejos, D. 2014. Estudio geoquímico y geocronológico de las sucesiones volcanosedimentarias pre-Jurásicas del norte de Chile (28°00'-29°30'): Implicancias para el inicio de la subducción andina. Congreso Geológico Argentino, N° 19. Actas 2: 21-40. Córdoba.

Petriella, B. 1985. Caracteres adaptativos y autoecología de las *Corystospermaceae*. Congreso Latinoamericano de Paleontología, Simposio de Floras triásicas, N° 3. Memoria 1: 53- 57. Ciudad de México.

Pettijohn, F.; Potter, P. y Siever, R. 1987. Sand and sandstone. Second Edition. F. Pettijohn, P. Potter y R. Siever (eds.). Springer-Verlag: 573 pp. New York.

Reyes Polidori, R., Moisan, P., Espinoza, M., Oliveros, V., 2022. Nueva localidad fosilífera con flora triásica de la Formación Sierra de Varas, Cordillera de Domeyko, Región de Antofagasta, Chile. In: II Congreso Chileno de Paleontología, San Vicente de Tagua Tagua, Chile, pp. 97.

Salvador, A., 1994. International Stratigraphic Guide – A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure. 2nd Edition, IUGS, GSA, Boulder.

Spalletti, L. A. 1999. Cuencas triásicas del Oeste argentino: origen y evolución. *Acta Geológica Hispánica*. Vol. 32 (1): 29-50. Barcelona.

Stipanovic, P. N. 2001. Antecedentes geológicos y paleontológicos. El Sistema Triásico en la Argentina. A. E. Artabe, E. M. Morel y A. B. Zamuner (eds.). Fundación Museo de la Plata “Francisco Pascasio Moreno”: 365 pp. La Plata.

Solms-Laubach, H., 1899. Beschreibung der Pflanzenreste von La Ternera. In: Beiträge zur Geologie und Palaeontologie von Südamerika (Steinmann, G. ed.). Neues Jahrbuch für Geologie, Mineralogie und Palaeontologie, Beilage 12, 593–609.

Suárez, M. y Bell, C. M. 1987. Upper Triassic to Lower Cretaceous continental and coast saline lake evaporites in the Atacama región of northern Chile. *Geological Magazine*. Vol. 124 (5): 467-475. Cambridge.

Suárez, M. y Bell, C. M. 1992. Triassic rift-related sedimentary basins in northern Chile (24°-29°S). *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 6 (3): 109-121.

Suárez, M.; Naranjo, J. A. y Puig, A. 1985. Estratigrafía de la Cordillera de la Costa, al sur de Taltal: etapas iniciales de la evolución andina. *Revista Geológica de Chile*. Vol. 24, 19-28.

Tavera, J. 1960. El Triásico del valle inferior del Río Biobío. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Instituto de Geología. Publicación 18: 321-348. Santiago.

Tavera, J. 1971. Informe-estudio sobre material paleontológico florístico proveniente de la Formación Panguipulli y Cerro Tralcán. Universidad de Chile, Departamento de Geología (inédito) 20 pp. Santiago.

Taylor, T., Taylor, T., y Krings, M. 2009. Paleobotany The biology and evolution of fossil plants. 2nd. Elsevier 1230p.

Troncoso, A. y Herbst, R. 2000. La taoflora triásica del Cajón Troncoso, Alta Cordillera del Maule, 7° Región, Chile. *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales B. Rivadavia*. Vol. 2: 137-144. Buenos Aires.

Troncoso, A. y Herbst, R. 2007. Cuatro flóculas del Triásico Superior del centro sur de Chile (Cerro Ranguilí, Cerro Quilvo, Cerro Gupo y Río Quillén). *Ameghiniana*. Vol. 44: 661-672. Buenos Aires.

Vera, J. A. 1994. Estratigrafía. Principios y Métodos. J. A. Vera (ed.). Editorial Rueda: 805 pp. Madrid.

Zamuner A. B; Zavattieri, A. M; Artabe, A. M y Morel, E. M. 2001. Paleobotánica. El Sistema Triásico de Argentina. A. E. Artabe, E. M. Morel y A. B. Zamuner (eds.). Fundación Museo de La Plata "Francisco Pascasio Moreno": 365 pp. La Plata.

Zeiller, M.R., 1875. Note sur les plantes fossiles de La Ternera (Chili). *Bulletin de la Société Géologique de France* 3, 572–574.