



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS

Biología

**PALEOPALINOLOGÍA DE LOS ESTRATOS DE NACIMIENTO (MIOCENO?),
EN LA REGIÓN DEL BIOBIO, CHILE.**

**Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de
la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Biólogo.**

POR: Yves Echeverría Muñoz

Profesora Guía: Katherine Cisterna

Profesor Co-guía: Dr. Patricio López

Concepción, Chile 2023

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi profesora guía, Katherine Cisterna, por darme a conocer y guiarme en el mundo de la paleobotánica, y por su paciencia a la hora de explicar el montón de conocimiento que necesitaba para empezar esta travesía.

A los chicos de GEOP, por permitirme ser parte de este proyecto y guiarme a la hora de preparar este trabajo.

A Anita Abarzúa, del Laboratorio de Paleontología de la Universidad Austral de Chile, por recibirme en su laboratorio y enseñarme desinteresadamente como tratar las muestras de este trabajo.

A la profesora Alicia Marticorena y el profesor Carlos Baeza, por permitirme acceder a la palinoteca del Depto. de Botánica, por recibirme y prestarme un espacio cada vez que necesitaba comparar mis observaciones.

A mi familia, a mi madre por apoyarme incondicionalmente desde el principio en esta aventura, por apoyarme cuando peor lo pasé. A mis hermanos y hermana por ser siempre un sustento moral en mi vida, por preocuparse siempre de cómo iba todo.

A mis amigos, por su apoyo y compañía desde chicos, por darme un lugar donde distraerme y olvidarme del estrés, y por esa amistad eterna.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| Tabla de contenido..... | iii |
| RESUMEN..... | ix |
| ABSTRACT..... | x |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Antecedentes Generales..... | 1 |
| 1.2 Antecedentes Paleobotánicos del sur de Sudamérica durante el Cenozoico..... | 5 |
| 1.2.1 Paleoceno..... | 5 |
| 1.2.2 Eoceno..... | 6 |
| 1.2.3 Oligoceno..... | 7 |
| 1.2.4 Mioceno inferior..... | 8 |
| 1.2.5 Mioceno medio..... | 9 |
| 1.2.6 Mioceno superior..... | 9 |
| 1.2.7 Plioceno..... | 10 |
| 1.3 Paleofloras del Sur de Sudamérica descritas para el Mioceno..... | 12 |
| 1.3.1 Paleofloras descritas por Troncoso & Romero (1998)..... | 12 |
| 1.3.2 Paleofloras descritas para el Mioceno según Hinojosa (2005)..... | 14 |
| 1.4 Antecedentes generales del área de estudio..... | 16 |

| | | |
|-------|---|----|
| 1.5 | Marco Geológico..... | 18 |
| 1.5.1 | Ubicación y acceso | 19 |
| 1.5.2 | Antecedentes paleontológicos de los "Estratos de Nacimiento" | 20 |
| 2 | HIPÓTESIS Y OBJETIVOS | 24 |
| 3 | MATERIALES Y MÉTODOS | 26 |
| 3.1 | Trabajo de gabinete | 26 |
| 3.2 | Trabajo de campo: | 26 |
| 3.3 | Extracción de muestras. | 27 |
| 3.4 | Trabajo de laboratorio..... | 29 |
| 3.4.1 | Preparación de las muestras..... | 29 |
| 3.4.2 | Determinación taxonómica..... | 33 |
| 3.4.3 | Análisis cuantitativo..... | 36 |
| 4 | RESULTADOS | 37 |
| 4.1 | Estratigrafía de los Estratos de Nacimiento | 37 |
| 4.2 | Conteo de palinomorfos..... | 38 |
| 4.3 | Descripciones de palinomorfos encontrados en los Estratos de Nacimiento. | 40 |
| 4.3.1 | Inaperturados | 40 |
| 4.3.2 | Monoletes..... | 45 |

| | | |
|--------|----------------------------|-----|
| 4.3.3 | Triletes..... | 48 |
| 4.3.4 | Monocolpados..... | 51 |
| 4.3.5 | Dicolpados..... | 53 |
| 4.3.6 | Tricolpados..... | 55 |
| 4.3.7 | Policolpados..... | 57 |
| 4.3.8 | Monoporados..... | 58 |
| 4.3.9 | Diporados..... | 59 |
| 4.3.10 | Triporados..... | 60 |
| 4.3.11 | Poliporados..... | 60 |
| 4.3.12 | Monosulcados..... | 61 |
| 4.4 | Análisis estadísticos..... | 63 |
| 4.5 | Perfiles polínicos..... | 66 |
| 5 | DISCUSIÓN..... | 69 |
| 6 | CONCLUSIONES..... | 80 |
| 7 | REFERENCIAS..... | 82 |
| 8 | ANEXOS..... | 100 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Resultados obtenidos en la clasificación taxonómica de maderas fósiles de Angol..... | 21 |
| Tabla 2. Ubicación de hallazgos fosilíferos próximos al área de estudio | 23 |
| Tabla 3. Coordenadas del Polígono A | 28 |
| Tabla 4. Descripción de la litología de los sedimentos muestreados..... | 37 |
| Tabla 5. Lista de especies y Afinidad botánica para los palinomorfos de los Estratos de Nacimiento..... | 39 |
| Tabla 6. Índices de diversidad utilizados a nivel de especie..... | 63 |
| Tabla 7. Índices de diversidad de cada muestra de sedimento. | 63 |
| Anexo 1. Conteo de palinomorfos | 100 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Mapa de la ciudad de Nacimiento con la ubicación aproximada del área de muestreo..... | 17 |
| Figura 2. Ubicación de la ciudad de Nacimiento respecto a otras ciudades de la región del Biobío..... | 19 |
| Figura 3. Ubicación del polígono A..... | 28 |
| Figura 4. Columna estratigráfica de los Estratos de Nacimiento..... | 38 |
| Figura 5. Gráfico de torta indicando la composición porcentual de la paleoflora a nivel de División..... | 64 |
| Figura 6. Gráfico de Pareto con la abundancia de familias de la paleoflora..... | 65 |
| Figura 7. Composición de la paleoflora según el hábito de cada especie..... | 65 |
| Figura 8. Perfil polínico de los Estratos de Nacimiento | 66 |
| Figura 9. Perfil polínico de los Estratos de Nacimiento | 67 |
| Figura 10. Perfil polínico según elementos fitogeográficos junto al dendrograma del análisis CONISS. | 68 |
| Anexo 2. Fotografías de palinomorfos. | 102 |
| Lámina 1. (1) <i>Araucariacites australis</i> , (2) <i>Cupressacites</i> sp. 1, (3) <i>Cupressacites</i> sp. 2, (4) <i>Graminidites media</i> , (5) <i>Palmidites maximus</i> , (6) <i>Arecipites waitakiensis</i> | 102 |
| Lámina 2. (7) <i>Monosulcites</i> sp., (8) , (9) <i>Tricolpites asperamarginis</i> , (10) <i>Liliacidites intermedius</i> , (11) <i>Dicolpopollis</i> sp. 1, (12) <i>Margocolporites scabratus</i> | 103 |

| | |
|--|-----|
| Lámina 3. (13) <i>Myrtacidites</i> sp., (14) <i>Inaperturopollenites</i> sp. 1, (15) y (16) <i>Nothofagidites saraensis</i> , (17) <i>Margocolporites</i> sp., (18) <i>Dicolpopollis</i> sp. 2.. | 104 |
| Lámina 4. (19) <i>Polyadopollenites</i> sp. 1, (20) <i>Polyadopollenites</i> sp. 2, (21) <i>Polyadopollenites</i> sp. 3, (22) <i>Caryophyllidites</i> sp., (23) <i>Nothofagidites flemingii</i> , (24) <i>Proteacidites</i> sp..... | 105 |
| Lámina 5. (25) <i>Inaperturopollenites</i> sp., (26) <i>Banksieaeidites arcuatus</i> , (27) <i>Laevigatosp.rites</i> sp., (28) <i>Laevigatosp.rites ovatus</i> , (29) <i>Trilites</i> sp., (30) <i>Peromonolites vellosus</i> | 106 |
| Lámina 6. (31) <i>Laevigatosp.rites major</i> , (32) <i>Cyathidites</i> sp., (33) <i>Cingulatisp.rites lachlanae</i> , (34) <i>Ischyosp.rites areapunctatis</i> , (35) <i>Cyathidites minor</i> , (36) Indeterminado..... | 107 |
| Lámina 7. (1-2) <i>Polyadopollenites</i> sp. 1, (3) <i>Cupressacites</i> sp. 1, (4) <i>Graminidites media</i> | 108 |

RESUMEN

Los grandes cambios sucedidos durante el Mioceno tuvieron un impacto profundo sobre la paleoflora del sur de Sudamérica. Desde antes del Mioceno, la flora se caracterizaba por ser principalmente bosques esclerófilos en el sur de Sudamérica, incluyendo el centro y centro-sur de Chile. En esta zona se ubica la comuna de Nacimiento, en la cual se descubrió un rico depósito de maderas fósiles, las cuales fueron asignadas originalmente con dudas al Mioceno por algunos investigadores. Posterior a esto, los estudios en la zona han sido escasos, lo cual ha dificultado el establecimiento del origen de la flora en dicho lugar. El perfil polínico de los Estratos de Nacimiento indica la presencia de una Paleoflora Subtropical Neógena, con abundante elemento endémico. Además su composición indica una alta afinidad con otras paleofloras de Chile y Argentina asignadas al Mioceno, por lo que además se postula que la presenta paleoflora pertenece a finales del Mioceno medio o principios de Mioceno tardío. Finalmente, la paleoflora también presenta una alta similitud con la flora actual de Nahuelbuta, lo que nos permite dilucidar parte de la historia de la vegetación del centro-sur de Chile, además de dar una perspectiva respecto a la conservación de la Cordillera de Nahuelbuta.

ABSTRACT

The great changes occurred during the Miocene had a profound impact on the paleoflora of southern South America. Prior to the Miocene the vegetation was characterized mainly by sclerophyllous forests in the southern region of South America, including central and south-central Chile. The city of Nacimiento is located in this area, where a rich deposit of fossil woods was discovered, which were originally assigned with doubts to the Miocene by some researchers. Subsequent studies in the area have been scarce, making it difficult to establish the origin of the flora in that location. The pollen profile of the “Estratos de Nacimiento” indicates the presence of a Neogene Subtropical Paleoflora, with abundance of the Endemic element. Furthermore, its composition suggests high affinity with other Miocene paleofloras in Chile and Argentina, so it’s also postulated that this paleoflora belongs to late middle Miocene or early late Miocene. Finally, this paleoflora also exhibits high similarity with the modern flora of Nahuelbuta, offering insights into the history of vegetation in south-central Chile and contributing to our understanding of the preservation of the Nahuelbuta mountain range.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

El Cenozoico es una era que inició aproximadamente hace 66 millones de años y se extiende hasta la actualidad. En sus comienzos, durante el Paleógeno, se pueden destacar los resultados de la extinción masiva ocurrida a fines del Cretácico y el aumento de la flora de Angiosp.erma (Nichols, 2008). Se registran además movimiento de los continentes a su actual posición, destacando la unión de las Américas por medio del istmo de Panamá (Montes *et al.*, 2012), la separación de la Antártida y Sudamérica junto a la formación del Paso de Drake (Scher & Martin, 2006); y un clima más cálido y húmedo que el actual que, a través de una serie de calentamientos y enfriamientos climáticos, tiende a un descenso de la temperatura promedio global hacia fines del Plioceno (Zachos, 2001).

Durante el Mioceno se produjeron cambios mayores en la topografía de la zona Centro-Sur de Chile como elevaciones en la Cordillera de la Costa y la formación de cuencas extensionales desde la zona de la costa hasta la Cordillera de los Andes, todo esto acompañado de una alta actividad volcánica (Encinas *et al.*, 2021).

Desde antes del Mioceno, la vegetación en Sudamérica estaba caracterizada por géneros esclerófilos, los cuales se extendían como bosques, lo que incluye al

Centro y centro-sur de Chile. El clima se caracterizaba por condiciones de lluvias veraniegas, las cuales fueron disminuyendo producto del levantamiento de la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes y la intensificación y mayor enfriamiento de la Corriente de Humboldt (Alpers, 1988; Collareta *et al.*, 2021). Se observa además una reducción en la aparición de incendios, a los cuales estaban relativamente adaptados los bosques de estas zonas (Keeley, 2012). Todo este conjunto de cambios ambientales provoca que el bosque esclerófilo se traslade parcialmente hacia el norte, permitiendo la aparición de especies hidrófilas a medida que el ambiente se enfriaba producto de la formación de hielo en la Antártida (Rundell *et al.*, 2016).

En la zona centro y centro-sur de Chile, Villagrán & Hinojosa (1997) y Villagrán *et al.* (2005) sugieren un clima frío y lluvioso para principios del Mioceno, caracterizado por paleoflora con componentes de distribución austral-antártico, aunque con la prevalencia de elementos actualmente Neotropicales y Pantropicales, dando un carácter fitogeográficamente mixto a la paleoflora. Entre los componentes templado-fríos se destaca a *Nothofagus*, y aparecen los primeros indicios del origen de los bosques esclerófilos de Chile central (Villagrán *et al.*, 2005).

A medida que el tiempo avanza desde el Mioceno temprano al medio, las temperaturas ascienden, registro consistente con el desarrollo de flora subtropical. En el Mioceno superior, se registra una disminución en los regímenes

de lluvias y temperaturas, y la formación del casquete polar en la Antártida, además del levantamiento de los Andes, provocando cambios en la vegetación en el Sur de Sudamérica (Barreda *et al.*, 2021). En zonas como Cerro Centinela y Formación Navidad (Región de O'Higgins), se puede encontrar una flora perteneciente al Mioceno tardío, la cual se puede dividir en dos grupos: Uno templado-frío, representado por *Nothofagus*, *Amomyrtus* y *Austrocedrus*, asociados hoy a bosques de *Nothofagus* en el centro y centro-sur de Chile y Argentina; y otro de clima cálido, presente en el Norte y centro de América del Sur, representado por géneros xéricos como *Schinus*, *Schinopsis*, *Acacia*, *Caryocar*, *Nectanda* (actualmente no presente en Chile), género de ambientes húmedos y representantes de Myrtaceae y *Araucaria* (Troncoso & Encinas, 2006).

Si bien las paleofloras del sur de Chile y Argentina mantienen características subantárticas (Caviglia, 2017), el evento de calentamiento conocido como Óptimo Climático del Mioceno, tendría profundas consecuencias en la composición de la vegetación de Chile central, aumentando la dominancia de taxa neotropicales y una disminución de taxa templado-fríos como *Nothofagus* y otros elementos austral-antárticos, evidenciado en tafofloras como la de Cerro Los Litres y Boca Pupuya, las cuales presentan elementos actualmente presentes en bosques esclerófilos como *Peumus*, *Myrceugenia* y *Cryptocarya*; además de familias de ambientes cálidos como Lauraceae y Myrtaceae respectivamente (Villagrán & Hinojosa, 2005).

Hinojosa (2005) reformula la nomenclatura de las paleofloras Cenozoicas establecidas por autores como Troncoso & Romero (1998), considerando además lo propuesto por Schmithüsen (1956), definiendo a la “Paleoflora Mixta”, típica de inicios del Mioceno, como una comunidad caracterizada por elementos austral-antárticos, con persistencia de elementos cálidos Neotropical y Pantropical; y para el Mioceno Inferior a Superior la “Paleoflora Subtropical Neógena”, caracterizada por la dominancia de elementos cálidos (Neotropical, Pantropical y Australasiano) con una disminución de elementos austral-antárticos, además del significativo aumento de elementos actualmente endémicos en los bosques del sur de Sudamérica.

Debido al carácter relictual de los bosques del Sur de Sudamérica (producto del aislamiento geográfico junto a la elevada tasa de extinción de las floras cretácico-terciarias), y además al escaso desarrollo de la investigación paleobotánica en Chile, es difícil dilucidar las relaciones históricas de la flora, en especial para el periodo del Neógeno (Villagrán 2018)

1.2 Antecedentes Paleobotánicos del sur de Sudamérica durante el Cenozoico.

Los trabajos realizados para el Cenozoico en el Sur de Sudamérica se concentran principalmente en el paleógeno, y a nivel geográfico, a la altura del centro de Chile y hacia el Sur. Hinojosa & Villagrán (1997) evidencian esta concentración realizando una recopilación de antecedentes paleobotánicos (desglosada a continuación). En la lista presentada en el estudio se observa 31 yacimientos ubicados en el sur de Sudamérica asignados al Paleógeno, mientras que 18 yacimientos son asignados al Neógeno, de estos siete se ubican en el centro o sur de Chile.

1.2.1 Paleoceno

Se encuentran asignadas las formaciones: Tunal, ubicada en Argentina, la cual posee estudios que la asignan al Paleoceno temprano, con una flora de carácter cálido y húmedo, denominada como una “Palinozona de *Mtchedlishvilia saltenia*” (Quattrocchio & Volkheimer, 2000); En el centro-sur de Chile se encontraban paleofloras tropicales o subtropicales, principalmente de familias como Lauraceae y Annonaceae, registrado en las formaciones Coronel-Lota y Ligorio Márquez (Troncoso *et al.*, 2002; Okuda *et al.*, 2006); Mientras tanto, en la Patagonia, las formaciones Bororo y Salamanca, en Chubut, Argentina, observan diversas comunidades predominantemente húmedas, esto presuntamente

provocado por la existencia de una sierra (Petriella & Archangelsky, 1975; Brea & Zucol, 2006); En la Antártida, se hallaba una paleoflora templada-fría caracterizada por *Araucaria*, *Podocarpus* y *Nothofagus*, además de las familias Loranthaceae y Myrtaceae, entre otras (Truswell, 1990).

1.2.2 Eoceno

En el Eoceno, se encuentran las formaciones Pichuleufu y Laguna Hunco (Wilf *et al.*, 2002, 2005, 2007), caracterizadas por Paleofloras mixtas, y representan los bosques de la Patagonia a principios del Eoceno, periodo en que Sudamérica, Antártida y Australia aún se encontraban unidas, estas paleofloras se caracterizaban por la presencia de elementos de afinidad Subtropical y elementos Subantárticos, y además se encuentran representantes de Proteaceae actualmente presentes en estas tres zonas (González *et al.*, 2007; Gayó *et al.*, 2005), mientras tanto, en la Antártida, se encuentran las formaciones de las Penínsulas de Ardley y Fildes (Orlando, 1963; Troncoso, 1986; Dutra, 2001, 2004), en las cuales se encontraban Paleofloras mixtas con una mayor abundancia de *Nothofagus*.

En el Eoceno inferior, la paleoflora se distinguía aún por su carácter mixto en Chile, propuesto a través de las formaciones Quinamávida (Troncoso, 1992) y Cocholgüe (Gayó *et al.*, 2005) de Chile central, Tribueco en Chile central-sur y con Chinqueniyeu y Cañadon Hondo, de la Patagonia, esta última caracterizada

por una mayor abundancia de *Nothofagus*; mientras en Argentina la paleoflora se distinguía por su carácter subtropical, registrado en la formación Lumbrera.

Durante el Eoceno medio, las Paleofloras mixtas con *Nothofagus* iniciarían una migración hacia el norte, evidenciada en los yacimientos El Arrayán, Bullileo y Río Turbio (Guerstein *et al.*, 2010; Fernandez, 2022)

Durante el Eoceno tardío, la formación Loreto (Fasola, 1969; Torres *et al.*, 2009) exhibe para el sur de Chile una paleoflora dominada por Pteridophyta, Araucariaceae, Podocarpaceae y Nothofagaceae, bajo un ambiente de temperaturas más cálidas que las actuales y mayor humedad.

1.2.3 Oligoceno

A principios del Oligoceno, en Chile central, persistían paleofloras mixtas con abundancia de *Nothofagus*, registradas en la formación Cerro Las Águilas (Hinojosa, 1996), lo mismo ocurre en Argentina, observado en la formación Puerto Belgrano (Guerstein, 1990), de Bahía Blanca, las cuales fueron perdiendo sus elementos tropicales a medida que la temperatura descendía en el transcurso del Oligoceno, dando paso a paleofloras principalmente antárticas (Troncoso, 1993; Guerstein *et al.*, 1995). Mientras tanto, en Brasil, las paleofloras se caracterizaban por ser tropical húmedas, con alta proporción de Pteridophyta, esto registrado en las formaciones Resende (Bernardes-de-Oliveira, 2014), y en la Cuenca de Gandarela y Fonseca (Maizatto, 2001; Fanton, 2013). Los posteriores descensos en la humedad y temperatura se evidencian en las

paleofloras de Bahía de Sao Paulo y formación Tremembé (Lima *et al.*, 1991, 1985). Hacia el final del Paleogeno, la mayoría de clases y órdenes modernos de Magnoliophyta ya poseían representantes en Sudamérica (Gandolfo & Zamalao, 2003; Prámparo *et al.*, 2007)

1.2.4 Mioceno inferior

Se observa una disminución en la humedad en el norte de Chile, Argentina, Bolivia, y el sur de Perú, sugerida por la formación Alexandra (Lima & Angulo, 1990), la cual registra presencia de Bombacaceae, Moraceae y Podocarpaceae. Mientras, en el norte de Chile y en Bolivia, la paleoflora se caracterizaba por elementos subtropicales, con un clima estacional y de lluvias estivales, observadas en las formaciones Psillypampa (Axelrod, 1979; Axelrod *et al.*, 1991) y Chucal (Charrier *et al.*, 1994). En Chile central, las formaciones Navidad, (Troncoso, 1991; Barreda, 2011; Gutierrez, 2011) y la Cordillera de los Andes registran una paleoflora Mixta, con abundancia de *Nothofagus*, en un clima cálido y estacional. En el centro-sur de Chile la formación Ranquil (Pino & Beltran, 1979; Pino & Nuñez, 1979) sugiere un aumento del elemento Antártico como *Nothofagus*, con un clima frío y lluvioso. Mientras tanto, en el norte de la Patagonia, Argentina, la paleoflora se caracterizaba por bosques Templados, de ambientes húmedos con algunos elementos de requerimientos cálidos, observados en la formación El Chacay (Tapia, 2019).

1.2.5 Mioceno medio

Durante este periodo, en Chile central el género *Nothofagus* fue desplazado hacia el sur, y reemplazado por Lauraceae, desarrollándose esta paleoflora en un clima templado o cálido, todo esto evidenciado en la formación Cerro Los Litres (Hinojosa, 1996) y Boca Pupuya (Hinojosa & Villagrán, 2005), a partir de las cuales se establece el origen del actual bosque esclerófilo de Chile central (Hinojosa, 2005; Hinojosa *et al.* 2006). Mientras, en Argentina, en el norte se observan, en la formación San José (Anzótegui & Herbst, 2004) bosques higrófilos, con algunos sectores xerófilos, todo esto bajo un ambiente subtropical; y en el sur, la formación Cabo Viamonte (Caviglia, 2017) registra una paleoflora antártica, dominada por *Nothofagus*, pero una considerable abundancia de Lauraceae, sugiriendo un clima frío, bi-estacional y con lluvias moderadas.

1.2.6 Mioceno superior

En Chile central, la formación Cerro Centinela (Troncoso & Encinas, 2006) registra una paleoflora de elementos tropicales, subtropicales y austral-antárticos. En el sur de Chile se observa predominancia de elementos antárticos de acuerdo a la formación Río Pedregoso (Rondanelli & Palma, 1991). Argentina presenta en el sur, de acuerdo a la formación Puerto Belgrano (Guerstein, 1990), una paleoflora Mixta con *Nothofagus* abundante, a partir de estos registros se sugiere un deterioro climático, mientras que en el norte, la formación Palo Pintado (Anzótegui, 1992; Robledo *et al.*, 2020) registra una paleoflora tropical a subtropical relacionada a las actuales comunidades florales del sur de Brasil. En

el Este de Sudamérica se encuentran varias paleocomunidades, selvas mixtas, bosques esclerófilos y bosques de *Araucaria* y *Podocarpus*, propuesto a partir de la Formación Paraná (Brea & Zucol, 2013; Zucol *et al.*, 2013). Mientras, en el este de los Andes, en la formación Potosí, se puede encontrar paleoflora típica de bosques tropicales de ambientes subhúmedos.

1.2.7 Plioceno

Las formaciones El Bretela y Tiopunco, de la Mesopotamia Argentina, exhiben comunidades xerófilas, mientras que las formaciones Ituzainguó y Riachuelo (Franco, 2012; Franco *et al.*, 2013), en la costa Atlántica, registran bosques subtropicales similares a los actuales, con abundancia de Lauraceae, Podocarpaceae, Myrtaceae y Fabaceae.

De acuerdo a los antecedentes descritos, se observa que los estudios de la paleoflora asignados al Cenozoico de Chile son reducidos, como se mencionó anteriormente, concentrándose principalmente en la zona centro de Chile. Esto debido no solo al poco desarrollo de investigaciones, sino también a la falta de afloramientos de este periodo, siendo los principales de la región, la Cuenca de Arauco, de edad Eocena (Paleógeno), además de algunos estudios sobre restos vegetales fósiles de la localidad de Salto del Laja asignados al Plioceno-Pleistoceno, troncos fósiles de los Estratos de Angol, y los troncos fósiles estudiados por Nishida (1972), descritos en la sección de “Antecedentes del área de estudio (4.3)” de la presente tesis. De esta forma, el estudio de los Estratos de Nacimiento no solo permite dilucidar parte de la historia de los bosques de Sudamérica en el Neógeno, sino que también permite comprender parte de la historia de la Cordillera de Nahuelbuta que, como se ha mencionado, gracias a su carácter relictual y de refugio para la flora del centro y sur de Chile, provee una interesante retrospectiva al comparar la paleoflora descrita con la actual composición florística establecida por Luebert & Pliscoff (2017) para los bioclimas Mediterráneo y Templado. Además en un contexto de cambio climático nos permite enfocar de manera precisa los esfuerzos de conservación, en especial en zonas afectadas por efectos antropogénicos como la Cordillera de Nahuelbuta.

Uno de los trabajos más importantes para la clasificación de paleofloras para el Cenozoico en el sur de Sudamérica ha sido el realizado por Troncoso & Romero (1998), que asignan cinco categorías de paleofloras para el Mioceno, luego, Hinojosa (2005) revisa y redefine estas clasificaciones, describiendo cuatro tipos de paleofloras para el cenozoico. Las categorías de ambos trabajos se encuentran descritas a continuación, mas la clasificación de Hinojosa (2005) será la utilizada en el resto del trabajo.

1.3 Paleofloras del Sur de Sudamérica descritas para el Mioceno

1.3.1 Paleofloras descritas por Troncoso & Romero (1998)

Describen las paleofloras para el Cenofítico, las cuales van del Barremiano, Cretácico inferior, hasta el Mioceno superior, en una serie de asociaciones según sus componentes, de las cuales aquí se presentarán las que corresponden principalmente al Mioceno de la zona centro y centro-sur de Chile:

Paleoflora mixta sin *Nothofagus*: Se mezclan taxa de distribución tropical, tales como Lauraceae, Rubiaceae, Sterculiaceae, entre otros, junto a taxa de distribución austral, como *Drimys*, *Emobthrium*, *Eucryphia*, *Lomatia* y *Laurelia*, igualmente se puede encontrar una alta abundancia de taxa subtropicales como Myrtaceae y Sapindaceae. Esta asociación se puede encontrar desde el límite Paleoceno/Eoceno en el norte de la Patagonia Argentina

Paleoflora mixta con *Nothofagus*: Similar a la anterior, pero con alta abundancia de *Nothofagus*. Se puede encontrar desde el Eoceno medio en las zonas de Chile central-sur y Magallanes-Santa Cruz hasta el Mioceno Inferior.

Paleoflora subantártica: Dominada por miembros del Género *Nothofagus*, acompañados por Myrtaceae y taxa de distribución austral. Este tipo se origina en la Antártida y se lo puede encontrar desde el Eoceno superior en el centro-sur de Chile hasta el extremo sur.

Paleoflora mixta de Chile central: Similar a la Paleoflora mixta con *Nothofagus* pero con elementos australes más predominantes. Se la puede encontrar desde el Mioceno medio en la formación Navidad, y en Goterones-Matanzas muestra semejanzas con la asociación anterior debido a la dominancia de *Nothofagus*.

Paleoflora xerofítica de Chile central: Con predominio de miembros esclerófilos, esta paleoflora se caracteriza por la dominancia de Fabaceae y elementos xerofíticos. Se encuentra desde el Mioceno medio a Mioceno superior, atestiguando una extinción de *Nothofagus* al Oeste de Santiago, estableciéndose una vegetación similar a la actual. Se caracteriza por ser una comunidad de bosque abierto.

1.3.2 Paleofloras descritas para el Mioceno según Hinojosa (2005)

Hinojosa (2005) propone una clasificación diferente para el cono sur de Sudamérica, teniendo en cuenta no solo las clasificaciones anteriormente descritas, sino también las nuevas descripciones de taofloras para esa fecha y su relación con los cambios climáticos, su nueva clasificación define cuatro categorías:

Paleoflora Gondwánica: Esta paleoflora se distribuyó en el cono sur durante el Paleoceno, estaba caracterizada por el predominio de elementos fitogeográficos Australasianos, Neotropicales y Pantropicales, ahora distribuidos en regiones cálidas, los elementos austral-antárticos estaban ausentes. Se desarrolló en un clima tropical, cálido y húmedo.

Paleoflora Subtropical Gondwánica: Se distribuyó durante desde inicios del Eoceno al Eoceno medio. Compuesta por elementos actualmente Neotropicales y Pantropicales, con una menor proporción de Australasianos y una mucho menor proporción de elementos austral-antárticos. Se habría desarrollado en un clima menos cálido, con régimen pluvial biestacional.

Paleoflora Mixta: Se encuentra en el cono sur a comienzos del Mioceno. Caracterizada por elementos austral-antárticos con persistencia de elementos Neotropicales y Pantropicales, y algo menos del elemento amplio. Se puede definir como auténticamente mixta debido a la proporción equiparada de sus componentes. De condiciones climáticas más frías y poco húmedas.

Paleoflora Subtropical Neógena: Se encuentra desde el Mioceno inferior a superior. Se caracteriza por el predominio de elementos cálidos (Neotropical, Pantropical y Australasiano), una disminución del elemento austral-antártico y el significativo aumento de elementos actualmente endémicos de los bosques del Sur de Sudamérica. Se desarrolla en condiciones cálidas y lluviosas, aunque con tendencia hacia la sequía estival. Se relaciona con el aumento de temperaturas medias de entre 6°C a 9°C.

1.4 Antecedentes generales del área de estudio

En la zona centro sur de Chile, se ubica la ciudad de Nacimiento, en la provincia del Biobío, Región del Biobío. La ciudad se encuentra a aproximadamente 3 km de la Cordillera de Nahuelbuta, cuyos orígenes geológicos están en debate. Gana y Wall (1997) definen el origen de la cordillera hacia el Cretácico; Muñoz *et al.*, (2000) asignan una edad Oligoceno tardío-Mioceno temprano; Farías *et al.* (2008b) para el Mioceno Tardío ; Melnick *et al.* (2009) para el Plioceno y Cheuquelao (2019) para el Pérmico.

En cuanto al origen de la flora, Hinojosa (2006), sobre la base de la fisionomía foliar y sus componentes fitogeográficos, establece una relación del componente florístico actual de la Cordillera de Nahuelbuta con las paleofloras de distintas formaciones fosilíferas, entre ellas Cerro las Águilas (al este de Curicó, Región del Maule) y Goterones (al norte de Matanzas, Navidad, Región de O'Higgins) de edad Miocena temprana; Que si bien no corresponden exactamente con la flora actual, presentan similitudes significativas, por ejemplo la presencia de géneros como *Austrocedrus*, *Nothofagus*, *Araucaria* en elementos fríos y *Persea*, *Cryptocarya*, *Podocarpus* en elementos más cálidos, tanto en las formaciones Cerro las Águilas y Goterones(Hinojosa, 1996; Troncoso, 1991) como en la zona de la Cordillera de Nahuelbuta en la Región del Biobío (Cavieres *et al.* 2005).

Los estudios paleoflorísticos en la zona son escasos, siendo el primero realizado por Nishida (1972) en donde describe la morfología de distintos ejemplares de

madera fósil encontrados los cuales asigna con dudas al Mioceno. En este trabajo, el autor describe detalladamente un ejemplar de madera fósil al que nombra como *Cupressinoxylon austrocedroides*, señalando que posee una estrecha semejanza con *Austrocedrus chilensis*, especie de conífera actualmente asociada a bosques templados y mixtos, cuya distribución incluye a la Cordillera de Nahuelbuta, y donde su presencia se ha visto drásticamente disminuida debido a la presión humana (Loguercio *et al.*, 2018). El mismo autor describe, en el mismo trabajo otro ejemplar de madera fósil a la que asigna a *Proteoxylon*.

La remoción de material arcilloso, asociada a la producción de cerámica a nivel regional y nacional desde canteras contiguas a la ciudad de Nacimiento (Región del Biobío), ha permitido el hallazgo in-situ de maderas fósiles de potente magnitud y buen estado de conservación en la zona (Cisterna *et al.*, 2022).

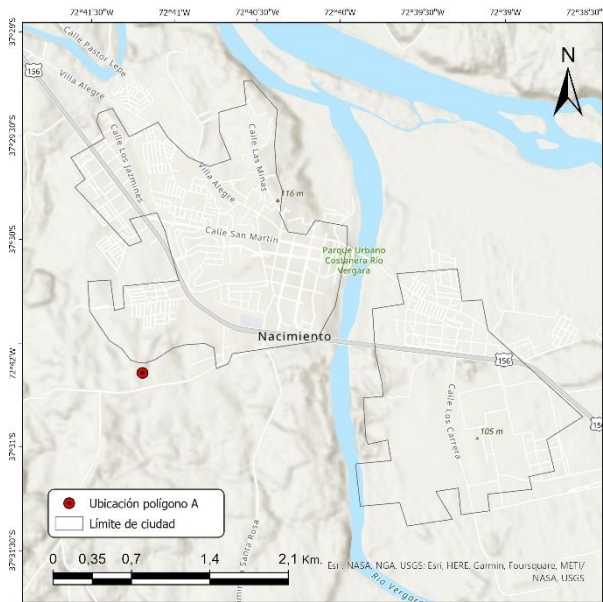


Figura 1. Mapa de la ciudad de Nacimiento con la ubicación aproximada del área de muestreo. (Fuente: Elaboración propia.)

1.5 Marco Geológico

De acuerdo a Ferrari (1981), Nacimiento estaría situado entre el batolito costero, rocas metasedimentarias del Paleozoico y en mayor superficie, sobre depósitos fluviales del Pleistoceno-Holoceno, los cuales estarían formados por gravas, arenas y limos provenientes del curso actual de los ríos Vergara y Biobío, de sus terrazas subactuales o de sus llanuras de inundación .

Al noroccidente y suroccidente de Nacimiento se pueden encontrar sectores caracterizados por la alta presencia de rocas metamórficas como filitas, pizarras y esquistos, entre las cuales se pueden encontrar intrusiones de rocas ígneas provenientes del sector central de la Cordillera de Nahuelbuta, denominado “Plutón Central Nahuelbuta”, en el cual abundan rocas de composición granítica, tonalítica, granodiorítica y diorítica (Cheuquelao, 2019).

Hacia el oriente, en la zona cercana a los ríos Biobío y Vergara, se hayan suelos agrícolas compuestos por sedimentos arcillosos pardos y pardo-rojizos cubriendo una extensa zona entre Angol y Los Ángeles rodeando la Cordillera de Nahuelbuta. De acuerdo con los estudios realizados por Ramos *et al.* (2022), los depósitos en la zona de Nacimiento se conforman por alternancia de lutitas carbonosas con impresiones de hojas y arcillas, que infrayacen a una cobertura proveniente de la meteorización del batolito, lo cual no concuerda con la descripción original propuesta por Ferrari (1981).

1.5.1 Ubicación y acceso

La ciudad de Nacimiento se ubica en la región del Biobío, a unos 108 km de Concepción y a 37 km de Los Ángeles. Para llegar a Nacimiento, desde Concepción, se debe tomar la ruta 156 (Av. Julio Hemmelmann), también conocida como ruta de la madera. Una vez dentro de la ciudad, siguiendo el camino de la misma ruta, se llega hasta la calle Nacimiento-Estero Liñeco, la cual conecta a su vez con la ruta Q-430 (Camino La Suerte), en donde se accede a las canteras La Virgen y de Cerámica Biobío (polígono A) donde se realizó el muestreo.

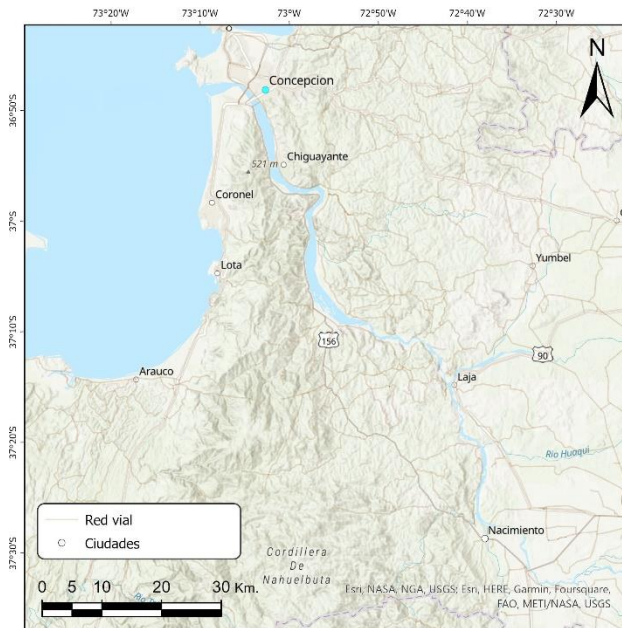


Figura 2. Ubicación de la ciudad de Nacimiento respecto a otras ciudades de la región del Biobío. (Fuente: Elaboración propia.)

1.5.2 Antecedentes paleontológicos de los "Estratos de Nacimiento"

Los reportes oficiales más antiguos sobre maderas fósiles en Nacimiento corresponden a los efectuados por Dillman Bullock (1969) y su posible influencia en las creencias de los "Nativos de Chile". Existe información de estos hallazgos de troncos y fragmentos de madera petrificada (fósil) en la ciudad de Angol, aproximadamente a 43 km. al sur de la comuna de Nacimiento por la ruta 180. Estos hallazgos habrían sido realizados hace décadas por el coleccionista, naturalista y agrónomo norteamericano Dillman Bullock (1878-1971), los cuales son actualmente expuestos en un museo homónimo ubicado en el fundo El Vergel, a 5 km. de Angol. Sin embargo, estas maderas fósiles habrían permanecido desconocidas para el mundo paleontológico hasta que se realizó un estudio el año 2016 nace como resultado del monitoreo arqueológico para la construcción de la Línea de Transmisión Eléctrica 66 Kv Central Picoiquén-Cerro Huequén (RCA 21/2012), en el cual se encontraron fragmentos aislados y dispersos de madera fósil a 1.5 km de Angol y por lo cual se recomendó, como medida de compensación de impacto ambiental, el rescate y contextualización geológica-paleontológica de los fósiles representativos, acompañados de un estudio paleoxilológico. Este estudio fue presentado el año 2016 en el simposio de paleontología y tuvo por objetivo realizar el estudio anatómico de maderas fósiles (Torres *et al.*, 2016) en su contexto geológico, taxonómico, valor científico, patrimonial y cultural para la comunidad Angolina.

Tabla 1. Resultados obtenidos en la clasificación taxonómica de maderas fósiles de Angol.
Fuente: Rescate Patrimonial y clasificación taxonómica de maderas fósiles, Angol, Araucanía, Chile (2016).

| Inventario | División | Familia | Género | Especie | Afinidad |
|------------|---------------------------|---------------|--------------------------------|--|-------------------------------------|
| 1) 1414-5 | GymnospermaConiferales | Podocarpaceae | <i>Podocarpoxyylon</i> Gothan | <i>Podocarpoxyylonpaleoandinum</i> Nishida | <i>Prumnopitys andina</i> . Lleuque |
| 2) 1414-7 | AngiospermaDicotiledóneas | Myrtaceae | <i>Temuxylon</i> ? | <i>Temuxylon</i> ?sp. | <i>Blepharocalyx</i> Temu |
| 3) 1414-8 | AngiospermaDicotiledóneas | Nothofagaceae | <i>Nothofagoxyylon</i> G othan | <i>Nothofagoxyylon</i> sp | <i>Nothofagus caducifolio</i> |
| 4) 1414-3 | AngiospermaDicotiledóneas | Nothofagaceae | <i>Nothofagoxyylon</i> G othan | <i>N.krauseli</i> Boureau&Salar | <i>Nothofagus caducifolio</i> |
| 5) 1414-10 | AngiospermaDicotiledóneas | Nothofagaceae | <i>Nothofagoxyylon</i> G othan | <i>N. menendezii</i> Ragonese | <i>Nothofagus caducifolio</i> |

Nishida (1972), reporta la existencia de *Cupressinoxylon austrocedroides* en el río Biobío, cercano a la comuna de Nacimiento (sin ubicación esp.ecífica), asignando con dudas estas maderas al Mioceno, señalando incluso que podría parecerse a *Austrocedrus chilensis*.

En las cercanías del área de influencia del proyecto, es posible identificar restos de megafauna pleistocena (Tabla 2). En la localidad de Estero de Coyanco, La Laja, situado en la Provincia del Biobío, se identifica un fragmento de vértebra asignada a *Equus* sp., además de restos de mastodonte, correspondientes a costillas y vertebras de Gomphoteriidae indeterminado (Frassinetti y Alberdi, 2001).

Moreno *et al.* (1991) también identifica restos de gonfotéridos fósiles en las localidades de Estero de Coyanco y Mulchén. Los autores en este trabajo reconocen dos especies: *Cuvieronius hyodon*, *Mastodon andium*, más otras combinaciones de nombres genéricos y esp.ecíficos, y *Mastotherium humboldti*. Los mastodontes según los autores están principalmente asociados a zonas de

baja altitud. Sobre la posición estratigráfica de los restos fósiles pleistocenos en Estero de Coyanco y Mulchén, no se especifica en qué unidad geológica se encuentran.

Anavalón (2018) correlaciona Formación La Montaña con Formación Malleco, las que se traslaparían en algunos sectores de la Región del Biobío y la Araucanía. Anavalón (2018) reconoce en Formación Malleco (en su trabajo sinónimo de Formación La Montaña) restos vegetales en limolitas con niveles lenticulares de arena en el sector Salto del Laja.

El Proyecto “Modificación Parque Eólico San Gabriel”, ubicado al este de la comuna de Renaico (Región de la Araucanía) y a 23 km al sureste de Nacimiento. Existe un antecedente notificado mediante Oficio de Pronunciamiento ORD. N°1392 (21/04/2020) del CMN, el cual señala: “Según los registros que posee el CMN, existen abundantes hallazgos fosilíferos de gastrópodos, bivalvos y vertebrados indeterminados en las cercanías de Renaico (Proyecto Modificación Parque Eólico San Gabriel, Informe de monitoreo y rescate paleontológico remitido al CMN)”. Los hallazgos fueron rescatados desde sedimentos asignados tentativamente a la Formación Mininco, de edad Plioceno.

Tabla 2. Ubicación de hallazgos fosilíferos próximos al área de estudio.(Fuente: Permiso de Prosp.ección Paleontológica ORD.: 04289-2021)

| Autor | Localidad | Coordenadas UTM (18H) | | Fósiles | Edad |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|---------|---|--------------------------------------|
| | | m E | m S | | |
| Frassinetti y Alberdi (2001) | Estero de Coyanco | 721108 | 5848610 | Gomphoteriidae indet. <i>Equus</i> sp. | Pleistoceno superior |
| Moreno et al. (1991) | Estero de Coyanco | 745360 | 5835497 | Gomphoteriidae | Pleistoceno |
| | Mulchén | 729203 | 5826587 | | |
| Anavalón (2018) | Salto del Laja | 731851 | 5877890 | Restos vegetales (hojas) | Plioceno-Pleistoceno/ Cuaternario |
| | Salto del Itata | 750550 | 5895724 | Troncos | |

Elgueta y Rubio (1991) identifican improntas de hojas asociados a sedimentos finos (limolitas y areniscas finas) intercalados con lentes de carbón, pertenecientes a la unidad Estratos de Angol.

Wall y Palma (1991) evidencian restos de troncos e improntas de hojas en diversos niveles de sublitarenitas, limolitas tobáceas y mantos de carbón pertenecientes a la secuencia basculada Estratos de Huequén, cercano a la ciudad de Angol.

Nuevos antecedentes propuestos por Ramos *et al.* (2022) sobre hallazgos de maderas fósiles en Nacimiento, sugieren que estas habrían sido conducidas hasta Nacimiento por aporte de los ríos Vergara o Biobío o por eventos de enterramiento rápido provenientes de la Cordillera de la Costa durante el Mioceno.

2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Considerando la falta de investigación relacionada a los estratos de Nacimiento y el establecimiento dudoso de una edad Miocena para los fósiles de madera propuesta por Nishida (1972), surgen las siguientes preguntas: ¿Cuáles son los elementos que caracterizan a la paleoflora de Nacimiento?, ¿estos elementos florísticos pertenecen al Mioceno?

Hipótesis

La paleoflora presente en los Estratos de Nacimiento, está caracterizada por la presencia de elementos Neotropicales, Pantropicales y Australasianos, representados principalmente por las familias Lauraceae y Myrtaceae, correspondiendo a una paleoflora del tipo “Subtropical Neógena”, descrita para el Mioceno del sur de Sudamérica.

Objetivo general

Estudiar y caracterizar la paleoflora de los Estratos de Nacimiento a partir de su composición paleopalinológica.

Objetivos específicos

- Establecer la composición paleoflorística de los Estratos de Nacimiento.
- Determinar las condiciones paleoambientales de los Estratos de Nacimiento que pudiesen dar indicios de algún rango temporal para el Mioceno.

- Asignar la composición paleopalinológica a alguna de las paleofloras propuestas por Hinojosa (2005).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Trabajo de gabinete

Se realizó una revisión bibliográfica sobre las paleofloras del Neógeno del Sur de Sudamérica, que consistió en un estudio y comprensión de la literatura disponible tanto de trabajos inéditos como de estudios antiguos. Se confeccionó un informe de los antecedentes que comprenden el trabajo y se diseñó una metodología para responder a la problemática planteada.

3.2 Trabajo de campo:

El trabajo de campo se llevó a cabo durante el mes de enero de 2023, durante 5 días consecutivos, en dos canteras de la Ciudad de Nacimiento: Cantera la Virgen y Cantera la Suerte. Ambos sitios fueron designados como “Estratos de Nacimiento”, haciendo referencia a los sitios en cuestión.

Se realizó el diseño de secciones estratigráficas contemplando un análisis detallado de estructuras sedimentarias y trazas fósiles además del levantamiento de columnas en ambas canteras. Los mapas fueron diseñados en el programa ArcGis Pro v3.0.2 y las columnas estratigráficas en Adobe Illustrator.

3.3 Extracción de muestras.

Las muestras palinológicas fueron obtenidas de sedimentos de dos canteras dentro de un área designada como polígono A correspondientes a Cantera la Virgen y Cantera la Suerte (Tabla 3), comprendido en el Permiso de Prospección Paleontológica ORD.: 04289-2021. El método de extracción consistió en la toma de sedimento considerando criterios litológicos (color de la roca, tamaño de grano, etc.). Se tomaron muestras de aproximadamente 500 gr las cuales fueron colectadas en bolsas de papel para evitar la proliferación de hongos por condensación. Posteriormente fueron procesadas en el Laboratorio de Paleontología de la Universidad Austral de Chile y analizadas en los laboratorios del Museo de Historia Natural de Concepción.

Las muestras obtenidas consistieron en seis muestras de sedimento de Cerro la Virgen y dos de Cantera la Suerte.

Polígono A: Se ubica al suroeste de Nacimiento, limita con la población “Las Pozas” y la carretera Q-430 al norte y al sur resp.ectivamente, y comprende una zona de libre tránsito.

Tabla 3. Coordenadas del Polígono A, registradas en UTM en la zona WGS84 Zona 18S.

| Zona Prosp.ección A | Lat. N. | Long. E. |
|---------------------|---------|----------|
| V1 | 5845812 | 704555 |
| V2 | 5846303 | 704582 |
| V3 | 5846285 | 704499 |
| V4 | 5846214 | 704263 |
| V5 | 5846181 | 704133 |
| V6 | 5846058 | 704171 |
| V7 | 5845939 | 704048 |
| V8 | 5845883 | 703969 |
| V9 | 5845786 | 703965 |
| V10 | 5845765 | 704068 |
| V11 | 5845757 | 704138 |
| V12 | 5845762 | 704226 |
| V13 | 5845774 | 704309 |
| V14 | 5845809 | 704475 |

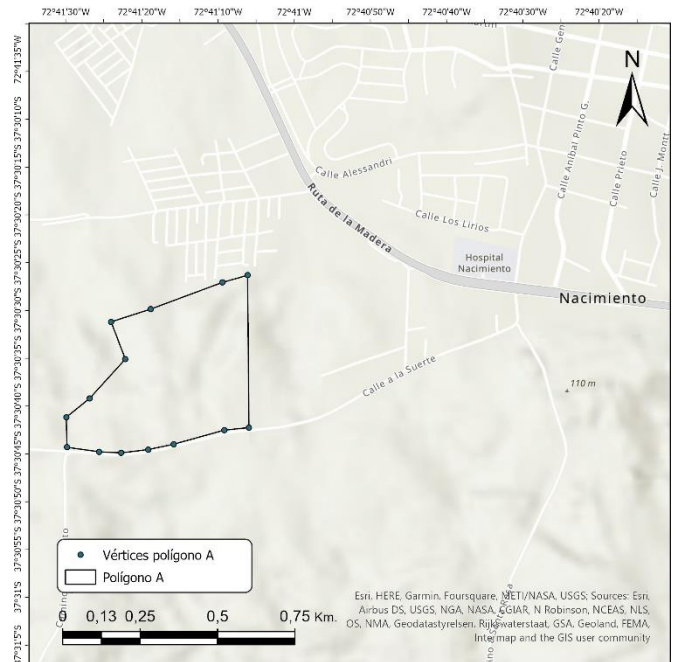


Figura 3. Ubicación del polígono A.

3.4 Trabajo de laboratorio.

3.4.1 Preparación de las muestras.

Las muestras de sedimento fueron tratadas de acuerdo al protocolo utilizado por Lee (1964) con algunas modificaciones. El proceso consiste en una extracción físico-química por medio de la adición sucesiva de Ácido nítrico (HNO_3), Ácido clorhídrico (HCl), Ácido fluorhídrico (HF). Posteriormente se llevó a cabo el montaje en medio líquido de Glicerina y se prepararán 5 slides (portaobjeto con muestra montada) en promedio por muestra de sedimento.

A continuación se describe el protocolo llevado a cabo para la preparación de las muestras, cada paso se realiza al mismo tiempo a cada muestra. El protocolo fue realizado en el Laboratorio de Paleontología de la Universidad Austral de Chile (UACh).

- 1- Moler aprox 2 gr de la muestra con un martillo hasta que tenga textura de granos gruesos (parecido a la sal), luego seguir moliendo en mortero hasta que tenga textura de polvo fino (parecido a la harina).
- 2- Tamizar en tamiz de 215 μm , si es posible utilizar luego uno más pequeño (212 μm). Para asegurar la presencia de polen se utilizaron aprox. 4 ml de sedimento, el cual se almacenó en un tubo falcon de 50 ml.

3- Aplicar Hipoclorito de Sodio (NaClO) en las muestras, aproximadamente unos 5 ml, o llenar el tubo hasta los 10 ml, agitar manualmente y meter en baño térmico a 65°C (entre 60°C y 70°C) durante 10 minutos, revolver utilizando un agitador Vortex cada 2min.

4- Equilibrar volúmenes hasta los 15 ml con agua destilada y luego centrifugar a 3200 revoluciones por minuto (rpm) por 5 minutos, cuando existe certeza de una baja abundancia de palinomorfos, se puede aumentar las rpm para asegurar el decantado. Eliminar luego el sobrenadante y volver a llenar con agua hasta los 15ml, repetir centrifugados hasta que el sobrenadante tome un color claro poco turbio. Idealmente el centrifugado se debe realizar entre 60° y 70°C , es decir, aplicando el centrifugado inmediatamente luego de sacar las muestras del baño y dejándolas reposar un tiempo para que calienten entre cada centrifugado.

5- Aplicar Ácido Nítrico (HNO_3) concentrado al 30% en todas las muestras hasta los 10ml y calentar a 65°C durante 10 minutos, revolviendo cada 2min en un agitador Vortex. Luego repetir paso 4, procurando eliminar los residuos en un recipiente específico.

6- Aplicar Ácido fluorhídrico (HF) al 40% por 30 minutos, debido a la alta cantidad de silicatos en las muestras, en este caso se dejaron toda una noche, revolviendo cada 5min durante la primera media hora, luego de esto deberían tomar una consistencia más líquida, y en el fondo, por medio de una brocheta de

madera, debiera sentirse suave, en caso de no estar listas, el fondo se sentirá arenoso; repetir paso 4 en caso de estar listas, si no, volver a aplicar Ácido fluorhídrico (HF) al 40% tal como se mencionó, pero esta vez a temperatura ambiente, para luego limpiarlas siguiendo el paso 4.

7- Luego de limpiar las muestras, a cada muestra se añade una tableta de *Lycopodium*, las cuales ayudan a realizar un estimado de la concentración de palinomorfos, y 10 ml de Ácido clorhídrico (HCl) al 30%, calentar durante 10 minutos, revolviendo cada 2min. Luego repetir 4

8- Aplicar Hidróxido de Potasio (KOH) al 10% toda una noche, los primeros 20 minutos se mantienen en calor, revolviendo cada 5 minutos.

9- Aplicar un tamizado de 150 μm para silicatos. Se realizó usando un trasvasijado a través de la malla, luego de esto se realiza un centrifugado para trasp.asar las muestras a tubos de 15ml, repitiendo el paso 4, esp.erando que el sobrenadante tome un color muy claro

10- Aplicar un tamizado de 5 μm para arcillas. Se realiza en un baño de ultrasonido, vertiendo la muestra en un tubo pvc con la malla en el fondo, el ultrasonido se aplica durante aproximadamente 20 segundos, en tandas de 4 segundos, procurando mover y agitar levemente la muestra. Evitar someter a ultrasonido demasiado tiempo, pues se pueden dañar los palinomorfos.

12- En este punto las muestras se encuentran listas, se reemplaza el agua con etanol para luego trasp.asar las muestras a glicerina, por medio de dos

centrifugados, se traspasa la muestra a tubos Eppendorf, los cuales se centrifugan nuevamente para eliminar el exceso de etanol, luego dejar ventilar la muestra para que el etanol se evapore.

13- Aplicar glicerina directamente al tubo Eppendorf, añadiendo aproximadamente la mitad de la cantidad de muestra, luego de esto, las muestras están listas para su montaje.

3.4.2 Determinación taxonómica.

Se realizó un análisis morfológico de los palinomorfos, diferenciándolos taxonómicamente a partir de sus caracteres diagnóstico, tales como dimensiones, forma, apertura, ornamentación y peculiaridades. La terminología utilizada fue la propuesta por Punt *et al.* (2007), y Halbritter *et al.* (2018), la afinidad asignada se hizo en base al catálogo *Sp.ores and Pollen of Chile* de Heusser *et al.* (1973) y comparaciones con muestras de la palinoteca de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción. La afinidad se asignó hasta el nivel de género, cuando la morfología lo permitió. Luego, la asignación de los taxa fósiles se realizó a partir de una base de datos y cinco estudios localizados en el sur de Sudamérica, mencionadas a continuación:

a. Raine *et al.* (2011)

Corresp.onde a la base de datos *New Zealand fossil sp.ores and pollen: An illustrated catalogue* (Esp.oras y polen fósil de Nueva Zelanda: Un catálogo ilustrado). Si bien no corresp.onde geográficamente con las muestras de este trabajo, presenta una recopilación importante de taxa utilizados a nivel mundial. Además, Nueva Zelanda presenta afinidad con Sudamérica debido a que ambos tienen origen Gondwánico. Este catálogo es utilizado en diversos estudios paleopalinológicos, incluyendo algunos de los mencionados en este trabajo.

b. Tapia (2019)

Corresp.onde a un estudio de la Formación el Chacay, asignado al Neógeno, esp.ecíficamente Mioceno temprano, ubicado al noroeste de la provincia de Santa Cruz, Argentina.

c. Barreda *et al.* (2011)

Corresp.onde a un estudio de la Formación Navidad, que representa la paleoflora de Chile Central en el Neógeno, se le asigna una paleoflora mixta, con dominancia de elementos Gondwánicos y Neotropicales.

d. Macphail & Cantrill (2006)

Estudio realizado en las Islas Malvinas, si bien es una ubicación lejana, la composición florística es parecida a grandes rasgos a los bosques húmedos de Sudamérica, y varias especies afines en el estudio se encuentran igualmente en la presente tesis.

e. D'Apolito *et al.* (2021)

Extensivo estudio paleopalinológico de la Formación Solimões, en el oeste del Amazonas brasileño, asignada al Mioceno medio, y con una paleoflora descrita como tropical húmeda. Parecido al caso anterior, este estudio se ubica lejos geográficamente, pero algunas especies afines se repiten, al menos, hasta el nivel de familia.

f. Gutierrez (2011)

Estudio realizado en la Formación Navidad, que se utiliza como complemento a la referencia c.

3.4.3 Análisis cuantitativo.

Se llevó a cabo un conteo de aproximadamente 300 palinomorfos, o el mayor número posible dentro de las muestras montadas, para luego realizar un perfil paleopalinológico y un análisis CONISS a través del programa Tilia 2.0.4. (Grimm, 2004).

Los taxa se agruparon según la División (Magnoliophyta, Pinophyta, etc.) y además según la Familia. Adicionalmente, a cada especie se le asignó un elemento fitogeográfico y una categoría de hábito, obtenidos a partir de lo propuesto por Villagrán & Hinojosa (1997), y del Catálogo de Plantas Vasculares (Rodríguez *et al.*, 2018) respectivamente.

Adicionalmente se calculó el índice de diversidad de Shannon y el índice de dominancia de Simpson por medio del software PAST 4.09 (Hammer, 2001).

La observación se realizó mediante un microscopio Carl Zeiss Axiolab 5 y se realizarán fotografías mediante una cámara integrada Axiocam 208 color, las cuales fueron procesadas mediante el software ZEN Blue de Zeiss y Adobe Photoshop.

4 RESULTADOS

4.1 Estratigrafía de los Estratos de Nacimiento

Los sedimentos muestreados consisten principalmente en arcillolitas y lutitas carbonosas, las cuales en general poseen un grano fino o medio.

Tabla 4. Descripción de la litología de los sedimentos muestreados.

| | |
|-----------|---|
| PCV-PO-08 | Lutita carbonosa negra (alto contenido de materia orgánica) de grano fino |
| PCV-PO-07 | Lutita carbonosa grisácea-negra de grano fino |
| PCV-PO-06 | Lutita carbonosa grisácea de grano fino |
| PCV-PO-05 | Lutita grisácea de grano fino |
| PCV-PO-04 | Lutita carbonosa de grano fino |
| PCV-PO-03 | Arcillolita con lentes carbonosos de grano fino, color gris con bajo grado de meteorización |
| PCV-PO-02 | Arcillolita micácea de grano medio con restos carbonosos, muy alterada |
| CLS-PO-01 | Arcillolita grisácea de grano medio meteorizada |

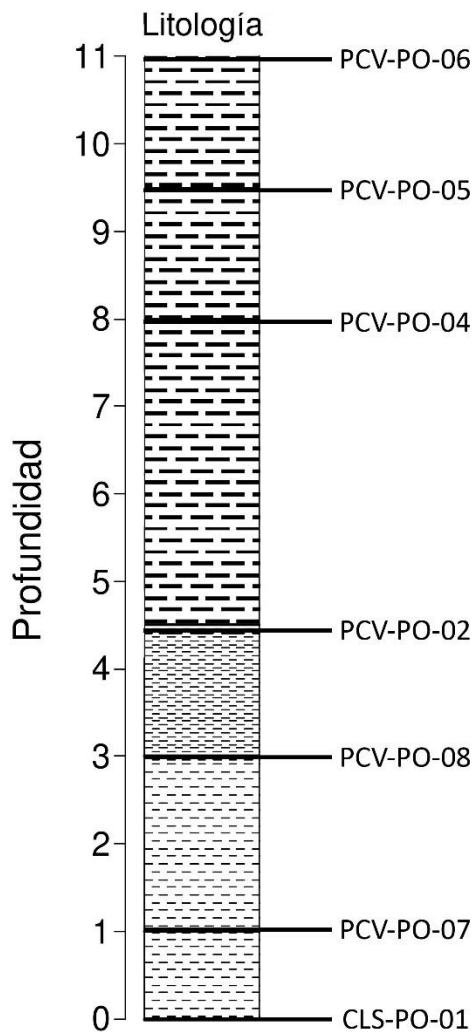


Figura 4. Columna estratigráfica de los Estratos de Nacimiento. (Elaboración propia)

4.2 Conteo de palinomorfos.

Las muestras analizadas presentaron concentraciones variables de palinomorfos. Para la segunda muestra de Cantera La Suerte el conteo no se consideró debido a la baja fertilidad de la muestra; respecto a las muestras de Cerro La Virgen, las muestras PCV-PO-06 y PCV-PO-08 presentaban una baja fertilidad, por lo que se realizó un conteo solo hasta revisar cinco montajes. En el resto de muestras se realizó un conteo hasta llegar a los 300 palinomorfos. Los

conteos totales se encuentran en el Anexo 1, mientras que las láminas con fotografías se encuentran en el Anexo 2

Tabla 5. Lista de especies y afinidad botánica para los palinomorfos de los Estratos de Nacimiento. Abreviaciones de elemento fitogeográfico: (AA) austral-antártico; (A) Australasiano; (E) endémico; (N) Neotropical; (P) Pantropical; (SC) Subcosmopolita.

| Taxón fósil | Familia | Género o especie (de ser posible) | Elemento Fitogeográfico | Hábito | Referencia ¹ |
|-----------------------------------|-----------------|---|-------------------------|-----------|-------------------------|
| Pinophyta | | | | | |
| <i>Araucariacites australis</i> | Araucariaceae | <i>Araucaria araucana</i> | AA | árbol | b |
| <i>Cupressacites</i> sp. 1 | Cupressaceae | <i>Fitzroya cupressoides</i> | E | árbol | d |
| <i>Cupressacites</i> sp. 2 | Cupressaceae | <i>Austrocedrus chilensis</i> | E | árbol | d |
| Magnoliophyta | | | | | |
| <i>Monosulcites</i> sp. | Amaryllidaceae | Cf. <i>Nothoscordum flavescens</i> | SC | hierba | a |
| <i>Liliacidites</i> sp. | Amaryllidaceae | Cf. <i>Miersia</i> sp. | E | hierba | c |
| <i>Polyadopollenites</i> sp. 2 | Apocynaceae | Cf. <i>Diplolepis</i> sp. | E | trepadora | f |
| <i>Polyadopollenites</i> sp. 3 | Apocynaceae | Cf. <i>Diplolepis</i> sp. | E | trepadora | f |
| <i>Palmidites maximus</i> | Bromeliaceae | <i>Greigia</i> sp. | N | hierba | a |
| <i>Caryophyllidites</i> sp. | Caryophyllaceae | <i>Colobanthus</i> sp. | AA | hierba | a |
| <i>Dicolpopollis</i> sp. 1 | Cunoniaceae | <i>Eucryphia</i> sp. | E | árbol | a |
| <i>Dicolpopollis</i> sp. 2 | Cunoniaceae | <i>Caldcluvia paniculata</i> | E | árbol | a |
| <i>Margocolporites scabratus</i> | Fabaceae | <i>Sophora macrocarpa</i> | AA | arbusto | a |
| <i>Margocolporites</i> sp. | Fabaceae | <i>Sophora</i> sp. | AA | arbusto | a |
| <i>Polyadopollenites</i> sp. 1 | Fabaceae | <i>Vachellia caven</i> | P | árbol | f |
| <i>Inaperturopollenites</i> sp. 1 | Lauraceae | Cf. <i>Cryptocarya alba</i> | P | árbol | e |
| <i>Inaperturopollenites</i> sp. | Lauraceae | <i>Persea lingue</i> | A | árbol | e |
| <i>Myrtaceidites</i> sp. | Myrtaceae | <i>Myrceugenia obtusa</i> | N | arbusto | c |
| <i>Nothofagidites saraensis</i> | Nothofagaceae | <i>Nothofagus</i> subgen. <i>Nothofagus</i> | AA | árbol | b |
| <i>Nothofagidites flemingii</i> | Nothofagaceae | <i>Nothofagus</i> subgen. <i>lophozonia</i> | AA | árbol | b |
| Orchidaceae | Orchidaceae | Cf. <i>Brachystele unilateralis</i> | N | hierba | |
| <i>Graminidites media</i> | Poaceae | <i>Nassella</i> sp. | N | hierba | a |
| <i>Proteacidites</i> sp. | Proteaceae | <i>Lomatia dentata</i> | AA | árbol | b |

| | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------------------|----|---------|---|
| <i>Granodiporites nebulosus</i> | Proteaceae | <i>Embothrium coccineum</i> | E | árbol | d |
| <i>Tricolpites asp. eramarginis</i> | Stylidiaceae | <i>Donatia fascicularis</i> | AA | hierba | b |
| <i>Arecipites waitakiensis</i> | Tecophilaeaceae | <i>Conanthera bifolia</i> | E | hierba | a |
| Indeterminado | | | | | |
| Pterydophyta | | | | | |
| <i>Laevigatosp. orites</i> sp. | Blechnaceae | <i>Austroblechnum</i> sp. | A | helecho | a |
| <i>Laevigatosp. orites ovatus</i> | Blechnaceae | <i>Austroblechnum penna-marina</i> | A | helecho | b |
| <i>Peromonolites vellosus</i> | Blechnaceae | Cf. <i>Austroblechnum</i> sp. | A | helecho | c |
| <i>Laevigatosp. orites major</i> | Blechnaceae | <i>Austroblechnum</i> sp. | A | helecho | a |
| <i>Cyathidites</i> sp. | Lycopodiaceae | Cf. <i>Austrolycopodium</i> sp. | AA | helecho | b |
| <i>Cyathidites minor</i> | Lycopodiaceae | <i>Austrolycopodium</i> sp. | AA | helecho | b |
| <i>Ischyosp. orites areapunctatis</i> | Ophioglossaceae | <i>Botrychium dusenii</i> | AA | helecho | c |
| <i>Trilites</i> sp. | Polypodiaceae | Cf. <i>Adiantum</i> sp. | SC | helecho | a |
| <i>Cingulatisp. orites lachlanae</i> | Polypodiaceae | Cf. <i>Adiantum</i> sp. | SC | helecho | a |

4.3 Descripciones de palinomorfos encontrados en los Estratos de Nacimiento.

4.3.1 Inaperturados

Araucariacites australis Cookson 1947

Lámina 1, Figura 1

Descripción. Grano simple, simetría radial; Esférico; Inaperturado; Exina con un grosor de 7-8 μm , ornamentación aparentemente escabrada.

Dimensiones. 80-110 μm .

Comentario. Esta especie se encuentra en todos los trabajos referenciados, con excepción de los trabajos de D'apolito *et al.* (2021), en el cual se encuentra otra especie asignada a Araucariaceae; y Gutiérrez (2011), en el cual solo se presenta el género *Araucariacites*. La descripción difiere de la de Tapia (2019) tanto en tamaño como en el grosor de la exina, siendo en los ejemplares de esta tesis de mayores dimensiones.

Afinidad. *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (Araucariaceae)

Cupressacites sp. 1 Reyre 1973

Lámina 1, Figura 2

Descripción. Grano simple, simetría radial; Esférico; Inaperturado; Exina con un grosor de 2-4 μm , aparentemente escabrado.

Dimensiones. 38-54 μm

Comentario. La descripción de este palinomorfo es mínima, y los estudios que la mencionan son pocos, mas la afinidad a nivel de género asignada por Macphail (2006) calza con la atribuida en esta tesis, además de que las imágenes proporcionadas en el estudio presentan características parecidas a los palinomorfos aquí descritos.

Afinidad. *Fitzroya cupressoides* (Molina) I.M. Johnst. (Cupressaceae)

Cupressacites sp. 2 Reyre 1973

Lámina 1, Figura 3

Descripción. Grano simple, simetría radial; Esférico; Inaperturado; Exina con un grosor de 1-2 μm , psilada.

Dimensiones. 23-32 μm

Comentario. Ocurrió para este caso lo mismo que la especie anterior.

Afinidad. *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic.Serm. & Bizzarri (Cupressaceae)

Inaperturopollenites sp. 1 (Pflug & Thomson in Thomson & Pflug, 1953) Potonié,
1958

Lámina 3, Figura 14

Descripción. Grano simple, simetría radial; Esférico; Inaperturado; Exina con un grosor de 2 μm , aparentemente escabrada.

Dimensiones. 37-46 μm .

Comentario. Este género fósil se encuentra descrito en el trabajo de D'Apolito (2021) y Gutiérrez (2011), pero difiere en la ornamentación, probablemente debido a la afinidad con la especie asignada en este trabajo, aun así el resto de la descripción coincide con el resto de las características en ambos trabajos.

Afinidad. Lauraceae cf. *Cyptocarya alba* (Molina) Looser (Lauraceae)

Inaperturopollenites sp. 2 (Pflug & Thomson in Thomson & Pflug, 1953) Potonié,

1958

Lámina 5, Figura 25

Descripción. Grano simple, simetría radial; Esférico; Inaperturado; Exina de 1-2 μm de grosor, ornamentación equinada o verrucada.

Dimensiones. 30-40 μm .

Comentario. Caso parecido al anterior (*Inaperturopollenites* sp. 1).

Afinidad. *Persea lingue* (Ruiz & Pav.) Nees (Lauraceae)

Polyadopollenites sp. 1

Lámina 4, Figura 19

Descripción. Grano poliada; Contorno elíptico; Cada componente sin forma definida; Aparentemente inaperturado; Exina con 1-2 μm de grosor, psilada.

Dimensiones. Cada componente 12-15 μm , poliada de 70-100 μm x 50-70 μm .

Comentario. La mayoría de ejemplares se encontraban desarmados o dañados, por lo que las dimensiones podrían ser diferentes en ejemplares contemporáneos de *Vachellia caven*. La descripción realizada por Gutiérrez (2011) si bien calza para el género *Acacia*, difiere en la cantidad de componentes por poliada, al igual que lo descrito por D'Apolito (2021) para *Polyadopollenites mariae*. Los ejemplares calzan en cantidad con las muestras modernas de *Vachellia caven* (ex *Acacia caven*).

Afinidad. *Vachellia caven* (Molina) Seigler & Ebinger (Fabaceae)

Polyadopollenites sp. 2

Lámina 4, Figura 20

Descripción. Grano poliada; Contorno elipsoide muy alargado; Cada componente sin forma definida, aparentemente inaperturado; Exina con 2-3 μm de grosor, psilada.

Dimensiones. 68-110 μm x 32-34 μm .

Comentario. No se encontraron ejemplares completos, por lo que el largo podría ser mayor al descrito anteriormente. Se optó por asignar este género fósil por la descripción general realizada por Gutiérrez (2011) y D'Apolito (2021), mas ambas difieren en tamaño, siendo la diferencia más del doble en ambos casos.

Afinidad. Apocynaceae cf. *Diplolepis* sp.

Polyadopollenites sp. 3

Lámina 4, Figura 21

Descripción. Grano poliada; Contorno elíptico; Cada componente sin forma definida; Aparentemente inaperturado; Exina con 2-3 μm de grosor, psilada.

Dimensiones. 115-150 μm x 80-100 μm .

Comentario. Al igual que en los dos casos anteriores, no se encontraron ejemplares en perfecto estado, por lo que las dimensiones podrían ser diferentes

al ejemplar descrito. En cuanto a las descripciones de otros autores, se repite el caso anterior.

Afinidad. Apocynaceae cf. *Diplolepis* sp.

Indeterminado

Lámina 2, Figura 8

Descripción. Grano tétrada romboidal, simetría radial; Cada componente aparentemente inaperturado; Exina con un grosor de 1-2 μm , aparentemente escabrado.

Dimensiones. Cada componente 15-20 μm , grano completo 30-40 μm .

Comentario. No se encuentran casos de palinomorfos tétradas presentes otros, mas la morfología se asemeja a la de las Orchidaceae modernas.

Afinidad. Orchidaceae cf. *Brachystele unilateralis* (Poir.) Schltr.

4.3.2 Monoletes

Laevigatosp. orites sp.

Lámina 5, Figura 27

Descripción. Esp.ora simple, bilateral; Oblada, ámbito ligeramente cóncavo en la zona de la lesura; Monolete, lesura recta y delgada, de aproximadamente 9 μm

de largo; Exina con un grosor de 1 μm o menos, perina de 4 μm ; Aparentemente psilado.

Dimensiones. 25-32 x 19-21 μm .

Comentario. El género se encuentra presente en todos los trabajos referenciados, con una afinidad asignada a Blechnaceae o Polypodiaceae, mas las especies mencionadas difieren principalmente en el tamaño, siendo los presentes ejemplares de menor tamaño

Afinidad. *Austroblechnum* sp. 1 Gasp.er & V.A.O.Dittrich. (Blechnaceae)

Laevigatosp.rites major (Cookson 1947) Krutzsch 1959

Lámina 6, Figura 31

Descripción. Esp.ora simple, simetría bilateral; Forma oblada, con una concavidad en la zona de la lesura; Monolete, lesura de 9-11 μm ; Exina de 1-2 μm de grosor, psilada a escabrada.

Dimensiones. 42-51 μm x 26-33 μm .

Comentario. La especie como tal se encuentra solo descrita en el catálogo *New Zealand fossil sp.ores and pollen*, si bien el género, como se menciona antes, se encuentra presente en todos los trabajos referenciados.

Afinidad. *Austroblechnum* sp. 3 Gasp.er & V.A.O.Dittrich. (Blechnaceae)

Laevigatosp. orites ovatus Wilson & Webster 1946

Lámina 5, Figura 28

Descripción. Esp.ora Simple, bilateral; Oblada, ámbito ligeramente cóncavo en la zona de la lesura; Monolete, lesura ubicada en el ecuador de 10 μm aproximadamente; Exina de un grosor de 1-2 μm , perina de 5-6 μm de ancho en la zona donde se ubica la lesura y al lado contrario, adelgazando hacia los extremos hasta unos 3-4 μm ; ornamentación aparentemente escabrada.

Dimensiones. 34-38 x 30-32 μm .

Comentario. Esta especie se encuentra mencionada en los trabajos de Macphail (2006), Barreda (2011) y Tapia (2019), de este último, si bien se encuentran dentro del rango de dimensiones, los del presente trabajo se encontrarían dentro de los más pequeños.

Afinidad. *Austroblechnum penna-marina* (Poir.) Gasp.er & V.A.O.Dittrich. (Blechnaceae)

Peromonolites vellosus Partridge in Stover & Partridge 1973

Lámina 5, Figura 30

Descripción. Esp.ora simple, simetría bilateral; Oblada, ámbito cóncavo en la zona de la lesura; Monolete, lesura de 14-16 μm ; Exina de 1.5-2.5 μm de grosor, aparentemente verrucada o equinada.

Dimensiones. 37-38 μm x 29-30 μm .

Comentario. Se encuentra mencionada en los trabajos de Macphail (2006), Tapia (2019) y Barreda (2011), siendo la imagen proporcionada en este último, muy parecida a los ejemplares aquí descritos

Afinidad. *Austroblechnum* sp. 2 Gasp.er & V.A.O.Dittrich. (Blechnaceae)

4.3.3 Triletes

Cingulatisp. orites lachlanae (Couper 1953) Krutzsch 1959

Lámina 6, Figura 33

Descripción. Esp.ora simple, simetría radial; Esférica; Trilete, cada lesura mide 16-18 μm , sin extenderse hasta los extremos; Exina con 1-2 μm de grosor, aparentemente escabrada.

Dimensiones. 39-42 μm .

Comentario. *Cingulatisp. orites* se encuentra mencionado en los trabajos de Gutiérrez (2011) y D'Apolito (2021), mas se optó por las especies ofrecidas en el catálogo de *New Zealand fossil sp.ores and pollen*, debido a una morfología y afinidad más cercana.

Afinidad. Polypodiaceae cf. *Adiantum* sp. 2 L.

Cyathidites sp.

Lámina 6, Figura 32

Descripción. Esp.ora simple, simetría bilateral; Por proporción es esférico, ámbito triangular; Trilete, aparentemente, las lesuras se extienden hasta los extremos; Exina de 1-2 μm de grosor, debido al estado es difícil distinguir ornamentación, probablemente psilado a escabrado.

Dimensiones. 30-37 μm .

Comentario. Este género es mencionado en todos los trabajos referenciados excepto en D'Apolito (2021), si bien distintas especies del mismo. Los ejemplares asignados se encontraban en general en mal estado, ya sea doblados, o parcialmente deteriorados. Las dimensiones en general difieren por muy poco, siendo los presentes de mayor tamaño, aún así, se asume que estas podrían ser diferentes en caso de estar en mejor estado los ejemplares.

Afinidad. Lycopodiaceae cf. *Austrolycopodium* sp. 1 Holub (Lycopodiaceae)

Cyathidites minor Couper 1953

Lámina 6, Figura 35

Descripción. Esp.ora simple, simetría radial; Por proporciones es esférica, ámbito triangular redondeado; Trilete, cada lesura mide 12-14 μm ; Exina con grosor menor a 1 μm , y ornamentación psilada a escabrada.

Dimensiones. 26-32 μm .

Comentario. Parecido al caso anterior, la especie como tal es mencionada en los trabajos de Barreda (2011) y Tapia (2019), diferenciándose el presente trabajo en la afinidad botánica.

Afinidad. *Austrolycopodium* sp. 2 Holub (Lycopodiaceae)

Ischyosp. orites areapunctatis (Stuchlik) Barreda 1996

Lámina 6, Figura 34

Descripción. Esp.ora simple, simetría radial; Por proporciones es esférica, ámbito triangular; Trilete, cada lesura de 24-27 μm , no se extienden hasta los extremos; Exina con grosor de 2-3 μm , verla es muy difícil en algunos casos, ornamentación velada o verrucada.

Dimensiones. 55-63 μm

Comentario. Especie descrita en los trabajos de Barreda (2011) y Tapia (2019). La descripción difiere principalmente en el tamaño, siendo los ejemplares del presente trabajo más grandes, además se difiere en la afinidad botánica.

Afinidad. *Botrychium dusenii* (Christ) Alston (Ophioglossaceae)

Trilites sp.

Lámina 5, Figura 29

Descripción. Esp.ora simple, simetría radial; Forma esférica; Trilete, cada lesura recta, casi extendiéndose hasta el ecuador, cada uno con un largo de 20-22 μm ; Exina muy delgada, de menos de 1 μm de grosor, aparentemente escabrada.

Dimensiones. 45-48 μm .

Comentario. El género fue asignado en base a las especies descritas en el catálogo *New Zealand fossil sp.ores and pollen*, debido a que ningún trabajo revisado contuviera una especie que calzara con la descrita, de la misma manera, la afinidad fue conferida, debido a la dificultad de compararla con otras especies modernas.

Afinidad. Polypodiaceae cf. *Adiantum* sp. 1 L.

4.3.4 Monocolpados

Arecipites waitakiensis (McIntyre 1968) Mildenhall & Pocknall 1989

Lámina 1, Figura 6

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Prolado; Monocolpado, el colpo se extienden hasta los polos; Exina de 1 μm de grosor o menos, hundiéndose en la zona donde se ubica el colpo, aparentemente escabrada.

Dimensiones. 20-22 μm x 15-16 μm

Comentario. Si bien el género *Arecipites* es mencionado en todos los trabajos referenciados excepto en Gutiérrez (2011), *A. waitakiensis* posee una mayor semejanza, diferenciándose el ejemplar descrito en el tamaño, siendo este más pequeño.

Afinidad. *Conanthera bifolia* Ruiz & Pav. (Tecophilaeaceae)

Monosulcites sp.

Lámina 2, Figura 7

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Prolado a perprolado; Monocolpado, colpo largo y relativamente ancho, extendiéndose casi hasta los polos, con unas 40-41 μm en promedio, Exina con 1-2 μm de grosor, psilada.

Dimensiones. 40-48 μm x 20-25 μm

Comentario. El género fue asignado basándose principalmente en los ejemplares del catálogo *New Zealand fossil sp.ores and pollen* y el trabajo de Gutiérrez (2011), mas las descripciones no calzan exactamente, diferenciándose principalmente en el tamaño, siendo los presentes más pequeños, y en la ornamentación, siendo los presentes psilados y los referenciados escabrados o intectados.

Afinidad. cf. *Nothoscordum flavescens* Kunth (Amaryllidaceae)

Liliacidites sp.

Lámina 2, Figura 10

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Prolado a perprolado; Monocolpado, colpo muy largo de 24-26 μm y estrecho, en algunos casos se extiende hasta los polos; Exina de 1 μm de grosor, escabrada a microequinada.

Dimensiones. 22-30 μm x 10-18.

Comentario. El género es mencionado en los trabajos de Macphail (2006) y Barreda (2011), muy parecidos, diferenciándose principalmente en el tamaño, siendo los presentes de mayor tamaño.

Afinidad. Amaryllidaceae cf. *Miersia* Lindl.

4.3.5 Dicolpados

Dicolpopollis sp. 1 Mildenhall 1994

Lámina 2, Figura 11

Descripción. Esp.ora simple, simetría bilateral; Prolado; Dicolpado, ambos colpos ubicados a lados contrarios, extendiéndose cercanos a los polos, con 11-13 μm de largo, muy estrechos; Exina de 1-2 μm de grosor, microequinada.

Dimensiones. 30-32 μm x 25-26 μm .

Comentario. Mencionados en el trabajo de Barreda (2011) y Gutiérrez (2011), las descripciones son parecidas, diferenciándose principalmente en el tamaño, por lo que se opta por una especie descrita en el catálogo *New Zealand fossil sp.ores and pollen*.

Afinidad. *Eucryphia* Cav. (Cunoniaceae)

Dicolpopollis sp. 2 Mildenhall 1994

Lámina 3, Figura 18

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Prolado; Dicolpado sincolpado, ambos colpos se extienden hasta unirse en los polos, poseen un ancho de 2-3 μm ; Exina de 1 μm de grosor, hundida en la zona donde recorren los colpos, ornamentación aparentemente escabrada.

Dimensiones. 14-15 μm x 13-12 μm .

Comentario. Caso parecido al anterior, con la excepción de que en este caso, el ejemplar presente es de un tamaño mucho menor a los encontrados

Afinidad. *Caldcluvia paniculata* (Cav.) D. Don (Cunoniaceae)

Especie Autores Año (16)

Lámina 6, Figura 36

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Esférico, Dicolpado, ambos colpos cercanos o ubicados en ambos extremos, en todos los ejemplares fue imposible discernir, ubicados en el ecuador, con 15-16 μm de largo, muy estrechos; Exina de menos de 1 μm de grosor, psilada.

Dimensiones. 25-30 μm .

Comentario. Especie indeterminada, tanto en taxa fósiles como como en especies modernas.

Afinidad. Magnoliophyta indeterminada

4.3.6 Tricolpados

Margocolporites sp.

Lámina 3, Figura 17

Descripción. Grano simple, Simetría bilateral; Prolado; Tricolpado, zonocolpado, colpos de 20 μm de largo aparentemente; Exina de 1 μm de grosor, escabrada a microequinada.

Dimensiones. 28-34 μm x 19-24 μm .

Comentario. Género mencionado en todos los trabajos, en general las descripciones calzan tanto en tamaño como en las aperturas y ornamentación, mas se optó por asignar sólo el género debido al estado en que se encontraban los ejemplares. La afinidad se asignó basándose en la descripción de la siguiente especie, poseyendo una morfología similar.

Afinidad. *Sophora* sp. L. (Fabaceae)

Margocolporites scabratus Pocknall & Mildenhall 1984

Lámina 2, Figura 12

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Por proporciones, suboblado a esférico, ámbito triangular redondeado en las esquinas; Tricolpado anguloaperturado, con un ancho de 8-9 μm y un largo de 8-9 μm ; Exina de 2 μm de grosor con engrosamientos en la zona que rodea los colpos, ornamentación microequinada.

Dimensiones. 31-32 μm x 30-31.

Comentario. Como se menciona anteriormente, el género es mencionado en todos los trabajos, mas se opta por una especie del catálogo de *New Zealand fossil sp.ores and pollen* debido a diferencias en la exina alrededor de los colpos en las especies de trabajos sudamericanos.

Afinidad. *Sophora macrocarpa* L. (Fabaceae)

Myrtaceidites verrucosus Partridge

Lámina 3, Figura 13

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Suboblado a esférico por proporciones, ámbito triangular con esquinas cortadas; Tricolpado anguloaperturado, colpos de 5-6 μm de largo y 1-2 μm de ancho; Exina menor a 1 μm de grosor, escabrada con una delimitación en la zona del apocolpium. Podría ser parasincolpado, para saberlo se necesitaría observar el palinomorfo en Microscopía electrónica.

Dimensiones. 17-20 μm .

Comentario. Los presentes ejemplares difieren en tamaño con los de Barreda (2011), siendo estos más pequeños. Adicionalmente, *Myrtaceidites* es mencionado en todos los trabajos excepto en Gutiérrez (2011)

Afinidad. *Myrceugenia obtusa* (DC.) O. Berg (Myrtaceae)

Tricolpites asp.eramarginis McIntyre, 1968

Lámina 2, Figura 9

Descripción. Grano simple, simetría radial; Esférico; Tricolpado, colpos muy abiertos, con 6-7 μm de apertura; Exina con un grosor de 1-2 μm , escabrada.

Dimensiones. 38-39 μm .

Comentario. El ejemplar difiere del referenciado en Tapia (2019) en el tamaño, siendo los presentes más grandes.

Afinidad. *Donatia fascicularis* J.R.Forst. & G.Forst. (Stylidiaceae)

4.3.7 Policolpados

Nothofagidites flemingii (Couper 1953) Potonié 1960

Lámina 4, Figura 23

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Esférico; Hexacolpado, zonocolpado, cada colpo tiene un ancho de 3-4 μm y se extienden 2-3 μm hacia el centro; Exina delgada, de menos de 1 μm de grosor, escabrada.

Dimensiones. 21-28 μm .

Comentario. Esta especie se encuentra en el trabajo de Macphail (2006) y Tapia (2019). La descripción es más parecida a la realizada por Tapia (2019), los

ejemplares del presente trabajo poseen los colpos más anchos que los descritos en la referencia.

Afinidad. *Nothofagus* subgen.. *lophozonia* Blume (Nothofagaceae)

Nothofagidites saraensis Menendez y Caccavari 1975

Lámina 3, Figura 15 y 16

Descripción. Grano simple, asimétrico; De proporciones esféricas, con ámbito pentagonal; Pentacolporado, colporos pequeños de 1-2 μm de ancho y largo; Exina de 1 μm de grosor, escabrada a foveolada.

Dimensiones. 21-27 μm .

Comentario. Especie mencionada y muy parecida a las descritas en los trabajos de Macphail (2006), Barreda (2011) y Tapia (2019).

Afinidad. *Nothofagus* subgen.. *Nothofagus* Blume (Nothofagaceae)

4.3.8 Monoporados

Graminidites media Cookson 1947

Lámina 1, Figura 4

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Esférico a prolado esférico; Monoporado, poro ubicado en el ecuador, de 6-8 μm , marginado; Exina delgada de 1 μm máximo, psilada.

Dimensiones. 32-41 μm

Comentario. El género se menciona en los trabajos de Macphail (2019), Barreda (2011) y Tapia (2019), mas se opta por utilizar el catálogo de *New Zealand fossil sp.ores and pollen*, debido a un mayor parecido.

Afinidad. *Nassella* sp. E. Desv. (Poaceae)

4.3.9 Diporados

Granodiporites nebulosus Partridge

Lámina 5, Figura 26

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Oblado; Diporado, ambos poros en extremos opuestos, ambos sobresalientes y con 5-7 μm de ancho; Exina de 1-2 μm de grosor, aparentemente foveolada.

Dimensiones. 20-28 μm x 40-48 μm

Comentario. Se diferencia de la especie referenciada principalmente en la forma de los poros, siendo estos sobresalientes.

Afinidad. *Embothrium coccineum* J.R. Forst. & G. Forst. (Proteaceae)

4.3.10 Triporados

Proteacidites sp.

Lámina 4, Figura 24

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; De proporciones esféricas, con un ámbito triangular muy marcado; Triporado angulaperturado, cada poro mide 3 μm ; Exina de 1-2 μm de grosor, aparentemente reticulado.

Dimensiones. 27-29 μm .

Comentario. Género mencionado en todos los trabajos, la descripción en general coincide con todos los descritos (uno de los descritos en caso de haber más de uno asignado como *Proteacidites* sp.), diferenciándose solo en el tamaño, siendo el ejemplar presente levemente más grande, pero dentro de los rangos descritos para especie afín asignada.

Afinidad. *Lomatia dentata* (Ruiz & Pav.) R. Br. (Proteaceae)

4.3.11 Poliporados

Caryophyllidites sp. Bannister *et al.* 2005

Lámina 4, Figura 22

Descripción. Grano simple, asimétrico; Esférico; Pantoporado, los poros no parecen seguir un patrón definido, cada poro tiene un ancho de 2-3 μm ; Exina de 1-2 μm de grosor, con ornamentación fenestrada.

Dimensiones. 42-44 μm .

Comentario. No se encontraron referencias que describieran especies como estas, si bien se encuentran especies pantoporadas, ninguna era fenestrada, además muy pocas asignaban afinidad a Caryophyllaceae, por lo mismo se optó por utilizar el catálogo de *New Zealand fossil sp.ores and pollen*.

Afinidad. *Colobanthus* sp. Bartl. (Caryophyllaceae)

4.3.12 Monosulcados

Palmidites maximus Couper 1953

Lámina 1, Figura 5

Descripción. Grano simple, simetría bilateral; Oblado, se observan muy deformados o doblados, por lo que es posible que la forma sea distinta; Monosulcado, sulco muy largo y ancho, de 40 μm ; Exina de 1-2 μm de grosor, psilada a escabrada.

Dimensiones. 50-58 μm x 35-40 μm

Comentario. Ningún trabajo referenciado menciona esta especie, ni tampoco a la especie afín, por lo que se optó por usar la especie encontrada en el catálogo de *New Zealand fossil sp.ores and pollen*, aun así, los ejemplares encontrados se encontraban en general deteriorados, ya sea doblados o con roturas, obstaculizando su identificación.

Afinidad. *Greigia* sp. Regel (Bromeliaceae)

4.4 Análisis estadísticos

Los índices de diversidad utilizados fueron el índice de diversidad de Shannon y el de Dominancia, junto al índice de Homogeneidad y de Simpson, ambos, resp.ectivamente, complementarios a los índices mencionados inicialmente.

Tabla 6. Índices de diversidad utilizados a nivel de especie.

| | |
|----------------------------------|---------|
| Taxa (S) | 35 |
| Individuos | 1656 |
| Dominancia (D) | 0.08039 |
| Índice de Simpson (1-D) | 0.9196 |
| Índice de Shannon (H) | 2.848 |
| Homogeneidad (e ^{H/S}) | 0.493 |

Tabla 7. Índices de diversidad de cada muestra de sedimento. Las separaciones en las muestras indican los grupos indicados a través del análisis CONISS.

| | CLS-PO-01 | PCV-PO-07 | PCV-PO-08 | PCV-PO-02 | PCV-PO-04 | PCV-PO-05 | PCV-PO-06 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Riqueza | 23 | 17 | 11 | 19 | 22 | 25 | 11 |
| Individuos | 298 | 300 | 82 | 303 | 301 | 300 | 72 |
| Dominancia(D) | 0,1374 | 0,128 | 0,302 | 0,1773 | 0,08346 | 0,1483 | 0,142 |
| Índice de Simpson (1-D) | 0,8626 | 0,872 | 0,698 | 0,8227 | 0,9165 | 0,8517 | 0,858 |
| Diversidad de Shannon (H) | 2,398 | 2,265 | 1,634 | 2,099 | 2,7 | 2,374 | 2,111 |
| Homogeneidad (e ^{H/S}) | 0,4785 | 0,5668 | 0,4659 | 0,4293 | 0,6765 | 0,4294 | 0,7507 |

Resp.ecto a la composición de especies, tal como se ve en la figura 4, existe una clara dominancia de Magnoliophyta (64%), aun así, a nivel de familia, la más abundante es Cupressaceae (Pinophyta), con un 24% (Figura 5).

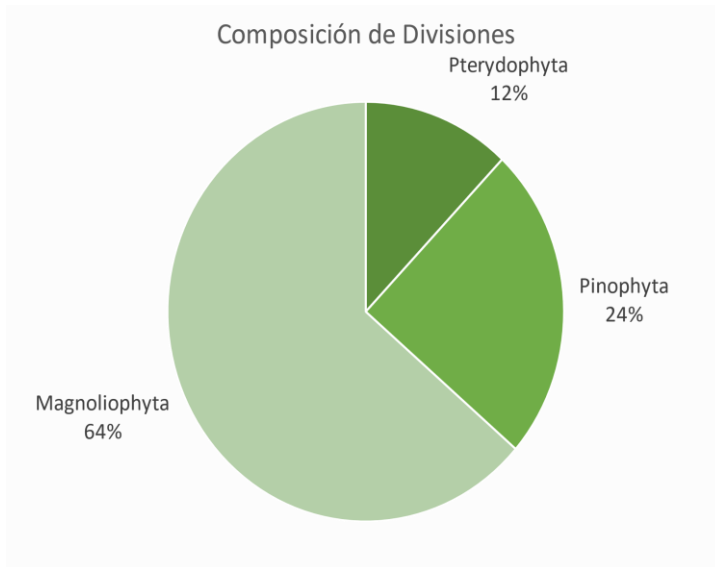


Figura 5. Gráfico de torta indicando la composición porcentual de la paleoflora a nivel de División.

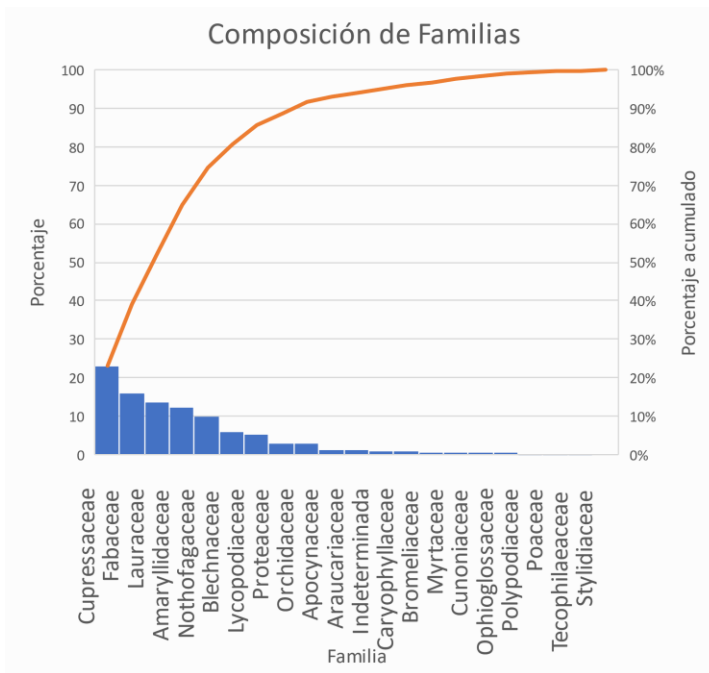


Figura 6. Gráfico de Pareto con la abundancia de familias de la paleoflora. La curva naranja representa la acumulación porcentual.

Respecto a los hábitos presentes, las especies arbóreas fueron las más abundantes (66%), seguidas de hierbas (18%) y helechos (12%). (Figura 6)

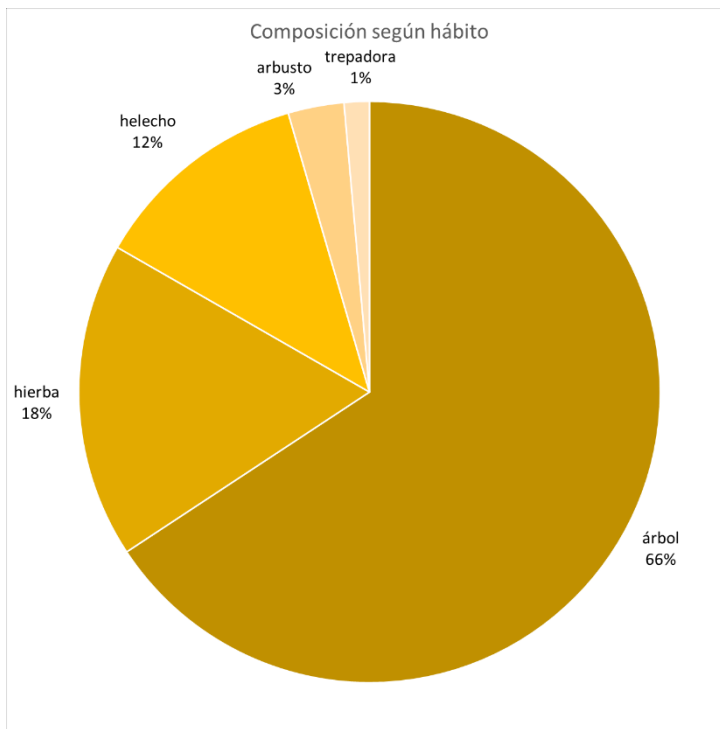


Figura 7. Composición de la paleoflora según el hábito de cada especie.

4.5 Perfiles polínicos

A partir del perfil polínico a nivel de especies (Figura 7) se observa una alta abundancia de *Austrocedrus chilensis*, *Fitzroya cupressoides* y *Vachellia caven*, seguidas de especies igualmente importantes como cf. *Miersia* sp. y *Nothofagus* subgen. *Nothofagus*.

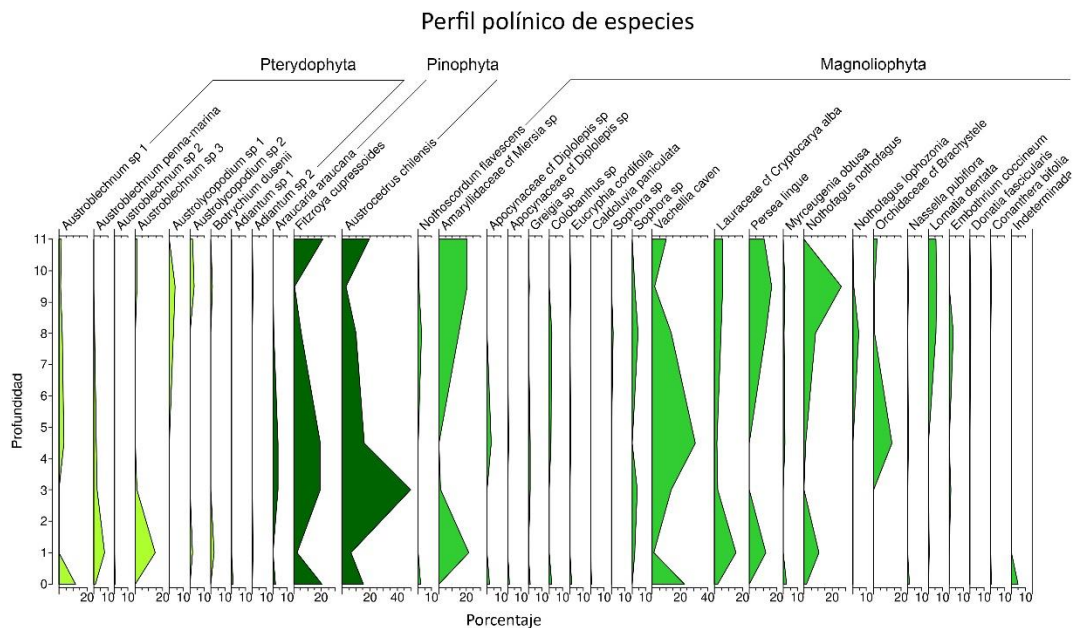


Figura 8. Perfil polínico de los Estratos de Nacimiento, se presenta la abundancia a nivel taxonómico de especies de cada muestra.

A partir del análisis CONISS realizado (Figura 8), se observa una división en tres grupos dentro de las muestras:

- Grupo I: Compuesto por las muestras CLS-PO-01 y PCV-PO-07, este grupo presenta una mayor abundancia de Cupressaceae, Fabaceae y Blechnaceae, las cuales disminuyen en la segunda muestra para dar paso a Amaryllidaceae, Lauraceae y Nothofagaceae.

- Grupo II: Compuesto por las muestras PCV-PO-08 y PCV-PO-02, en este grupo se observa un alza importante de Cupressaceae, seguido de Fabaceae, mientras Amaryllidaceae, Lauraceae y Nothofagaceae muestran una disminución considerable.
- Grupo III: Compuesto por las muestras PCV-PO-04, PCV-PO-05 y PCV-PO-06, en este grupo se vuelve a ver la tendencia del primer grupo, presentando una disminución de las familias Cupressaceae y Fabaceae, mientras familias como Amaryllidaceae, Lauraceae y Nothofagaceae aumentan su abundancia, cabe destacar el aumento de Nothofagaceae en comparación al primer grupo, además de la relación más estrecha entre los componentes del grupo según el CONISS.

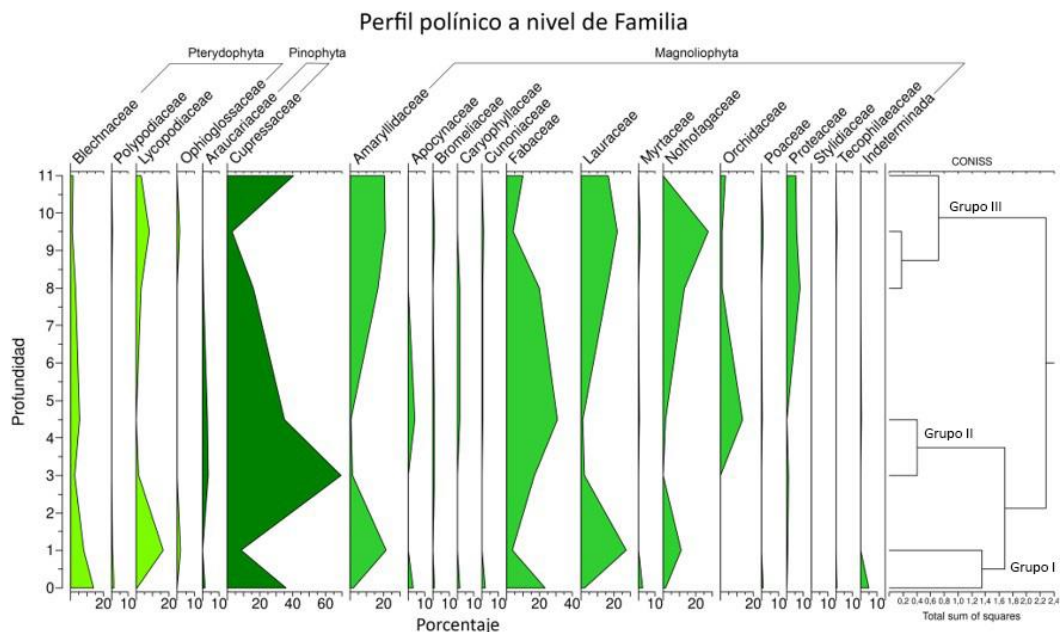


Figura 9. Perfil polínico de los Estratos de Nacimiento, se presenta la abundancia a nivel taxonómico de familia de cada muestra. A la derecha el dendrograma del análisis CONISS.

La composición por elementos fitogeográficos (Figura 9) muestra una alta abundancia de elementos endémicos para todas las muestras, con un alza en el segundo grupo, y al final del tercer grupo, a este elemento le siguen el austral-antártico y Pantropical, y finalmente el elemento Australasiano. Las tendencias son parecidas a las de la composición por familias, exceptuando al elemento austral-antártico, que presenta un aumento en general, con una caída abrupta en la última muestra.

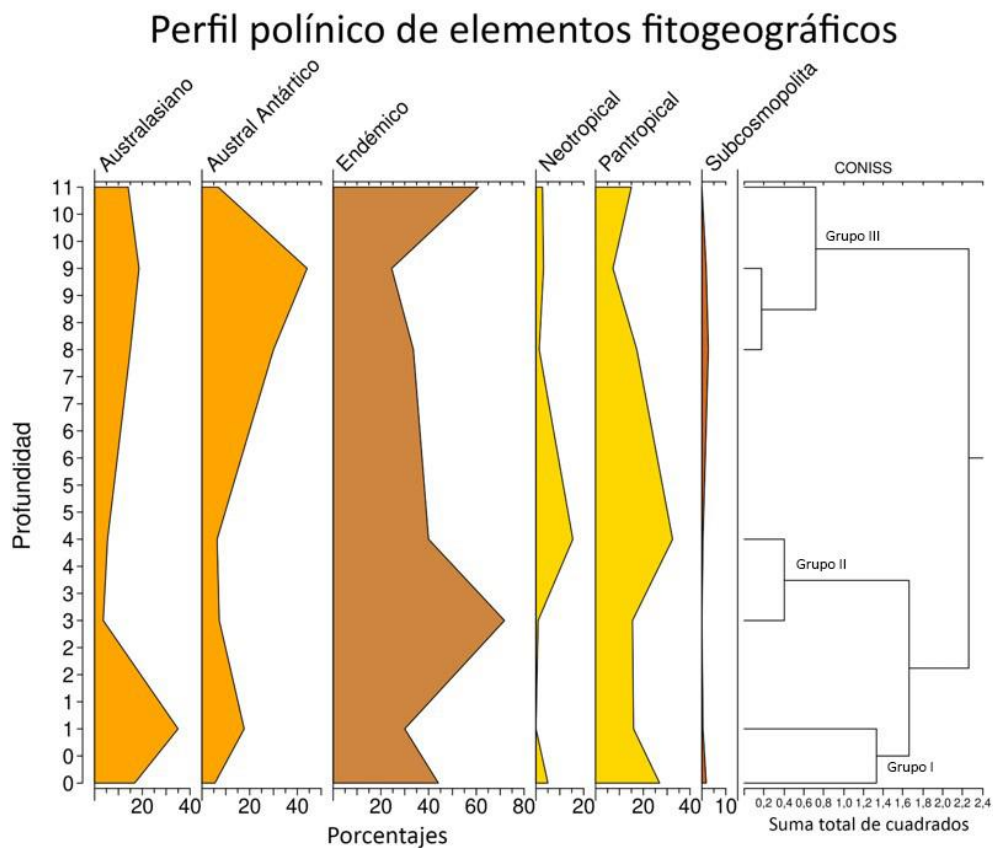


Figura 10. Perfil polínico según elementos fitogeográficos junto al dendrograma del análisis CONISS.

5 DISCUSIÓN

Los índices de diversidad indican una diversidad alta, la cual, como se ve en la Tabla 6, se mantiene relativamente estable a través del tiempo. Solo en la tercera muestra (PCV-PO-08) se observa una disminución en la diversidad, mientras que en la quinta muestra (PCV-PO-04) se observa un aumento considerable. Respecto a la dominancia, al igual que la diversidad, esta se mantiene relativamente estable a través del tiempo, con un aumento notable en la tercera muestra (PCV-PO-08), exactamente la misma en la que se observa una disminución en la diversidad. En esta muestra se observa un aumento de *Austrocedrus chilensis*, que llega a conformar el 41% de la composición (Figura 7), de entre todas las especies, es la única que presenta semejante aumento, probablemente debido a la disminución de temperaturas deducida a partir del análisis CONISS.

A partir del perfil polínico en base a los elementos fitogeográficos se observa una clara dominancia de elementos endémicos, seguida de austral-antártico y Australasiano, y una no despreciable abundancia del elemento Pantropical. Esto significa que, de acuerdo a las clasificaciones propuestas por Hinojosa (2005) para el Mioceno, se estaría ante una Paleoflora Subtropical Neógena asignada para todo el Mioceno, y no una Paleoflora Mixta asignada para principios del Mioceno, descartada debido a la mencionada dominancia del elemento endémico y una disminución del elemento austral-antártico. Si bien la hipótesis sólo contemplaba la asignación de una clasificación de Paleoflora, se ha decidido

complementar con otros análisis y observaciones, debido principalmente al hecho de que la clasificación de “Paleoflora Subtropical Neógena” pertenece a todo el Mioceno.

Al realizar comparaciones con otras paleofloras dentro de Chile, existen pocas opciones para el centro, centro-sur y sur de Chile, debido no solo a la poca cantidad de estudios palinológicos, sino también a la baja cantidad de afloramientos de formaciones para la edad del Mioceno (Hinojosa & Villagrán, 1997), siendo los principales sitios estudiados los asignados a la formación Navidad, en las Regiones de Valparaíso y O’Higgins (Finales de Oligoceno a Mioceno Superior). En estos estudios, los realizados en base a improntas foliares, presentan familias afines a las de esta tesis, como por ejemplo Myrtaceae, Lauraceae, Nothofagaceae, Proteaceae en Magnoliophyta, y a nivel de Género se encuentran *Myrceugenia*, *Persea*, *Nothofagus*, *Caldcluvia* y *Araucaria* (Troncoso, 1991; Hinojosa, 1996); estudios polínicos presentan taxa en común igualmente, además de los ya mencionados, como Poaceae, Polypodiaceae, Lycopodiaceae, representadas por los géneros *Lomatia* y *Lycopodium* (Barreda, 2011; Gutiérrez, 2011). Hacia el Sur de Chile, la cantidad de estudios del Mioceno disminuyen drásticamente, siendo los Estratos de San Pedro, en la Región de Los Ríos (Finales de Oligoceno a Mioceno Temprano), la única formación estudiada encontrada al momento de realizar esta tesis, en la cual se estudiaron improntas foliares, con géneros en común asignados a *Persea*, *Myrceugenia*, *Eucryphia*, *Nothofagus* y *Lomatia*. Adicionalmente, a modo

de complemento, se puede comparar con paleofloras de Argentina, debido a que la Cordillera de los Andes aún no alcanzaba su altura máxima durante este periodo, permitiendo una mayor mezcla entre las paleofloras de Chile con Argentina; entre las cuales se encuentran similitudes principalmente a nivel de familias, como Fabaceae, Myrtaceae, Apocynaceae, Poaceae, Araucariaceae, Polypodiaceae, Blechnaceae y Lycopodiaceae en estudios de improntas foliares del Noroeste de Argentina de 4 formaciones del Mioceno Tardío estudiadas por Anzotegui (2019); más al sur se pueden encontrar estudios de las formaciones El Chacay, asignada al Mioceno Inferior, que presenta a las familias Blechnaceae, Polypodiaceae, Araucariaceae, Fabaceae, Nothofagaceae, Poaceae y Proteaceae (Tapia, 2019); las formaciones San Julián y Monte León, asignadas a “Oligoceno a Mioceno Inferior”, con abundancia de Blechnaceae, Polypodiaceae, Proteaceae, Nothofagaceae, Myrtaceae y Poaceae (Nañez, 2009); Puerto Madryn, asignado al Mioceno Medio a Tardío con presencia de Poaceae, Nothofagaceae y Araucariaceae (Palazzesi, 2004); estos estudios fueron realizados a partir del polen, y como se mencionó, pertenecen al sur de Argentina, por lo que junto al estudio mencionado del Noroeste de Argentina pueden presentar una imagen general de como la Paleoflora Argentina del Mioceno presenta afinidades parcialmente a la Paleoflora encontrada en los Estratos de Nacimiento, aunque cabe mencionar que si bien la comparación del Mioceno de Argentina presenta diversidad de familias similares, no ocurre lo mismo a nivel de género, se observa esto principalmente con las familias

Fabaceae y Poaceae, las cuales son mucho más diversas en las formaciones Argentinas, además cabe recalcar la ausencia, en este estudio, de la familia Asteraceae, presente en los estudios realizados en Chile comparados anteriormente y en gran parte de estudios Argentinos, en especial los del Mioceno Inferior.

A partir del análisis CONISS, y teniendo en cuenta las tendencias dentro de los tres grupos se podría dar cuenta de un aumento, descenso y luego otra vez un aumento en las temperaturas, esto debido principalmente a las oscilaciones de las familias Cupressaceae, Nothofagaceae, Lauraceae, a esto también se podría sumar la oscilación en los elementos Pantropical, austral-antártico y Australasiano, siendo el primero más abundante en el segundo grupo (asociado a una mayor temperatura), y lo contrario ocurriendo con los otros dos elementos. A partir de lo anterior se podría deducir que las muestras obtenidas en los Estratos de Nacimiento se ubican probablemente en un rango temporal cercano al principio o final del Optimo Climático del Mioceno (MECO), siendo más probable que se encuentren al final debido a la clara dominancia de elementos endémicos. Lo anterior, estaría de acuerdo con lo mencionado por Hinojosa (2005), tanto la tendencia a un aumento del elemento mencionado como de la formación de ensambles de flora parecidos a los actuales bosques del centro-sur de Chile. Esta afirmación se puede confirmar al realizar comparaciones con las especies presentes en la Cordillera de Nahuelbuta actualmente.

De acuerdo al estudio realizado por Cavieres *et al.* (2005), en la Cordillera de la Costa, en la porción que colinda con la Región del Maule, los bosques actuales se encuentran dominados en el dosel por *Aristotelia chilensis*, *Nothofagus glauca* y *Nothofagus obliqua*, de las cuales, si bien *A. chilensis* no se encuentra presente, el género *Nothofagus* estaría presente en los sedimentos más recientes (Figura 8, Anexo 1); en el nivel intermedio, las especies más importantes, que además se encuentren en la presente tesis, serían *Persea lingue* y *Cryptocarya alba* (siendo la última una especie conferida a *Inaperturopollenites* sp. 1) y ambas especies constituyen solo dos de las ocho mencionadas en el estudio de Nahuelbuta actual; En el estrato arbustivo, en términos de abundancia, los géneros más importantes en común corresponderían a *Lomatia*, *Myrceugenia* y *Sophora*, constituyendo cuatro de los ocho taxa más importantes. Hacia el sur, en la zona de Nahuelbuta como tal, se encuentran variadas especies de *Nothofagus*, sumados a los géneros *Lomatia*, *Embothrium*, *Nassella*, *Araucaria*, *Myrceugenia* y *Austrocedrus*.

Lo anteriormente descrito calzaría hasta cierto punto con la hipótesis planteada por Hinojosa (relaciones de la flora terciaria), de que la flora actual de la Cordillera de la Costa descende o se origina a partir de las paleofloras terciarias Neógenas.

Las floras actuales al norte de esta zona se caracterizan, en la Región del Maule, por la presencia de *Embothrium coccineum*, *Greigia*, *Lomatia*, *Myrceugenia*, *Nassella*, *Nothofagus*, *Persea lingue*, *Sophora* y adicionalmente, alta riqueza de

las familias Blechnaceae, Proteaceae y Myrtaceae (Arroyo *et al.*, 2005). Mientras que desde el sur, la flora encontrada en las provincias de Valdivia, Osorno y Llanquihue presenta afinidad con los taxa *Embothrium coccineum*, *Greigia*, *Lomatia*, *Myrceugenia*, *Nassella*, *Nothofagus*, *Persea lingue*, *Sophora*, *Caldcluvia paniculata*, *Austrocedrus chilensis*, *Fitzroya cupressoides*, *Lycopodium* (actual *Austrolycopodium*). Sumado a esto la alta riqueza de familias como Fabaceae, Myrtaceae y Poaceae (Smith-Ramírez *et al.*, 2005). A partir de esta comparación se puede observar una mayor afinidad con la flora proveniente del sur, en especial con las especies más abundantes de la Cordillera de la Costa, y además, la paleoflora de Nacimiento presenta una clara afinidad con la paleoflora de Chile central, lo que podría indicar que la zona de Nacimiento y la Región del Biobío en general, constituía en el Mioceno una transición entre los bosques provenientes del Bioclima Mediterráneo y del Bioclima Templado, zona que actualmente se distribuye en la Cordillera de Nahuelbuta en la sección más al norte, y luego, hacia el sur, en la Región de la Araucanía (Luebert & Plissock, 2017). Lo anterior además podría explicar la alta abundancia de *Vachellia caven* (Figura 7), especie del elemento Pantropical encontrada principalmente en la zona central, cuya distribución se pudo haber visto ampliada hasta esta zona en un periodo más cálido del Mioceno, retrocediendo luego hacia el Norte. Esto se podría explicar a partir de su oscilación a través del tiempo, aumentando cuando el Grupo II del dendrograma presenta una mayor abundancia de los elementos cálidos como el Neotropical (Figura 9).

Al comparar con las clasificaciones Bioclimáticas propuestas por Luebert & Plischoff (2017) se observa que los Macrobioclimas Mediterráneo y Templado se ubican en la actual Región del Biobío y en la Cordillera de Nahuelbuta respectivamente.

Dentro del Macrobioclima mediterráneo se encuentran, entre otros, los bioclimas:

a)Xérico-oceánico: distribuido principalmente en las faldas de la Cordillera de los Andes desde el norte de Coquimbo, por el interior y costas desde los 31°S hacia el sur y luego por el interior de la Región de Valparaíso hasta los 33°S. Se caracteriza por ser un bioclima semiárido y cálido, y su vegetación, presenta una alta abundancia de *Vachellia caven*, siendo ésta la especie dominante en algunas zonas conocidas como bosques espinosos. Además una considerable abundancia de *Cryptocarya alba*, aun así, más allá de estas dos especies la similitud es muy baja.

b)Pluviestacional-oceánico: el cual se distribuye por todo Chile desde los 33°S hasta el límite con el Macrobioclima Templado. El bioclima está compuesto, entre otros, por matorrales espinosos que presentan dominancia de *V. caven* hasta el norte del Biobío en lomajes costeros, planicies, matorrales y bosques esclerófilos, bosques de *Nothofagus* y bosques resinosos de *Araucaria araucana*. De estos, se encuentra una alta similitud con aquellos asignados a la Cordillera de la Costa, en especial con los de las laderas occidentales pertenecientes de Bosques de *N. obliqua* y bosques esclerófilos, donde en ambos se pueden

encontrar, por ejemplo, los géneros y/o especies *Austrocedrus chilensis*, *Cryptocarya alba*, *Myrceugenia*, *Persea lingue*, *Sophora macrocarpa*, *Lomatia* y *Nothofagus*, del cual destaca principalmente el subgénero *Lophozonia* y en segundo lugar el subgénero *Nothofagus*.

Luego, en la región del Biobío, empieza el Macrobioclima Templado, en el cual se encuentran, entre otros, los bioclimas:

a)Oceánico: que se distribuye en las zonas andinas del sur de la Región del Biobío, norte de la Araucanía y algunas áreas limítrofes en las regiones de Los Lagos y de Aysén, se caracteriza por un clima húmedo y de termotipos mesotemplado a orotemplado. La vegetación de este bioclima se caracteriza por contener principalmente bosques, entre los cuales destacan caducifolios, resinosos de coníferas y siempreverdes. En este bioclima se observa una mediana similitud con la paleoflora, principalmente con los bosques resinosos de coníferas, que presentan especies y/o géneros como *Embothrium coccineum*, *Fitzroya cupressoides*, *Myrceugenia*, *Araucaria araucana* y *Nothofagus*, destacando la presencia del subgénero *Nothofagus*.

b)Hiperoceánico: que posee una amplia distribución, encontrándose en zonas costeras, interiores y andinas, caracterizado por un clima húmedo y de termotipos termotemplado a criorotemplado. La vegetación presenta una alta similitud con la paleoflora presentada, en especial con los pisos vegetacionales asignados a las zonas cercanas a Nahuelbuta, sur del Biobío y la Araucanía. La

vegetación actual se caracteriza por bosques caducifolios de *Nothofagus*, bosques laurifolios, bosques resinosos de coníferas, matorrales y bosques siempreverdes, con los cuales se observa una alta similitud, principalmente con los pisos de vegetación asignados a la Cordillera de la Costa, pero también con los asignados a zonas más al sur, esto a través de los géneros *Eucryphia*, *Greigia*, *Lomatia*, *Persea lingue*, *Myrceugenia*, *Araucaria araucana*, *Fitzroya cupressoides* (aunque solo hasta la Región de los Lagos), *Donatia*, *Caldcluvia*, *Embothrium* y *Nothofagus*, respecto a éste último, cabe destacar una mayor abundancia del subgénero *Nothofagus* por sobre *Lophozonia*.

Adicional a los anteriores Macrobioclimas, cabe destacar la existencia del bioclima Submediterráneo, que se encuentra en las zonas limítrofes entre el Macrobioclima Mediterráneo y Templado, en la Región de la Araucanía, y es el predominante en la zona de Nahuelbuta. Su vegetación se caracteriza por bosques caducifolios, laurifolios y resinosos de *A. araucana*, en los cuales se observa igualmente una muy alta similitud con la paleoflora de Nacimiento, encontrando casi la totalidad de los géneros o especies descritos en este trabajo, con la excepción de *Fitzroya cupressoides*, *Nothoscordum*, *Miersia*, *Colobanthus*, *Vachellia caven*, *Brachystele*, *Nassella*, *Conanthera* y *Botrychium*.

Todo lo anteriormente descrito nos permite observar además de una parcial similitud de la Paleoflora de Nacimiento con la actual flora de Nahuelbuta, la condición de zona de transición de Bioclima mediterráneo a Bioclima templado

que poseen las regiones del Maule, del Biobío y el norte de la Araucanía, la cual pudo haber tenido una mayor amplitud en el Mioceno, esto basado en la presencia de *Vachellia caven* y *Fitzroya cupressoides*, actualmente ausentes en la Cordillera de Nahuelbuta de la Región del Biobío. Luego, en el género *Nothofagus*, se observa una mayor predominancia del subgénero *Lophozonia* en las zonas al norte de Nahuelbuta que corresponden a bioclimas mediterráneos, mientras que en las zonas al sur y cercanas a la Cordillera de los Andes, de los bioclimas templados, se observa una mayor predominancia del subgénero *Nothofagus*. Adicionalmente, se puede observar que la mayor similitud de la paleoflora de Nacimiento con la flora actual de Nahuelbuta se da con los pisos vegetacionales asignados a las laderas medias y altas de Nahuelbuta, con una leve tendencia hacia los del sector occidental, por lo que la paleoflora podría tener un origen costero proveniente de la Cordillera de Nahuelbuta.

Adicionalmente, se observa una disminución general en la abundancia de Pteridophyta, lo que podría dar cuenta de una disminución en la humedad promedio.

Finalmente, se debe recalcar una constante duda a través de la realización de esta tesis respecto a la afinidad de la especie *Cupressacites* sp. 1, pues de acuerdo a las descripciones obtenidas de Heusser (1973), este palinomorfo representaba cierta similitud con *Fitzroya cupressoides* y *Cryptocarya alba*. Ambas especies presentando granos de polen de tamaño similar, misma forma y

ambos inaperturados, diferenciándose en la ornamentación, siendo *F. cupressoides* escabrado y *C.alba* escabrado a ligeramente verrucado; y en el grosor de la exina, siendo *F. cupressoides* de mayor grosor. La asignación de afinidad de esta especie fósil es sumamente importante, debido a su alta abundancia y a que ambas especies pertenecen a elementos fitogeográficos sumamente diferentes: austral-antártico y Pantropical, resp.ectivamente.

Debido a que los palinomorfos obtenidos de los sedimentos no se encuentran en su mejor estado, y que la diferencia en la ornamentación solo se puede observar a grandes aumentos en los mejores casos, la asignación siempre estuvo en duda, mas se decidió por asignarla a *F. cupressoides* luego de obtener imágenes realizadas en SEM (Lámina 7, figura 3) y observar un ejemplar que poseía características más parecidas a esta especie que a *C. alba*. Esta decisión además daría cuenta de la presencia de *F. cupressoides* en una zona más al norte de su actual distribución (Salgado, 2020) pero dentro de la Cordillera de la Costa. Debido a todo lo mencionado, si bien se tienen argumentos para asignar a *F. cupressoides*, la afinidad se encuentra abierta a discusión.

6 CONCLUSIONES

La paleoflora de los Estratos de Nacimiento corresponde a una "Paleoflora Subtropical Neógena" de acuerdo a las clasificaciones descritas por Hinojosa (2005). Además, esta paleoflora podría ubicarse a finales del Mioceno medio o inicios del Mioceno tardío, debido a la alta abundancia de elementos actualmente endémicos.

Gracias a la comparación con la actual vegetación de Chile, se observa una gran afinidad con la actual flora de Nahuelbuta, adicionalmente con elementos típicos del Macrobioclima mediterráneo. Todo esto nos permite dilucidar una fracción de la historia de la Cordillera de Nahuelbuta y de la Paleoflora de la zona centro-sur de Chile, siendo el presente trabajo el primer estudio paleobotánico asociado a esta área y la comuna de Nacimiento. Aun así, seguirán haciendo falta más esfuerzos de estudio de estas paleofloras y de los mismos Estratos de Nacimiento.

Los índices de diversidad indican una alta diversidad para esta paleoflora, la cual se mantiene estable, en general, en todas las muestras. Esto daría cuenta que la condición de zona de alta biodiversidad de la Región del Biobío podría haberse originado durante el Mioceno o antes y haberse mantenido a través del tiempo.

Este trabajo da cuenta de la presencia de Alerce (*Fitzroya cupressoides*) más al norte que su actual distribución, en una época en que las temperaturas eran más altas que las actuales. Esto se debería probablemente a una mayor humedad, ya

que hoy en día esta especie se encuentra asociada a climas oceánicos húmedos en la Cordillera de la Costa.

Finalmente, a partir de esta clara afinidad de la paleoflora de los Estratos de Nacimiento, asociada a un clima más cálido, comparado con la actual flora de Nahuelbuta, nos permite deducir que en un contexto de cambio climático, la vegetación de la Cordillera de Nahuelbuta se vería poco afectada por el aumento de las temperaturas, sin embargo, se podría ver afectada por cambios en los regímenes de lluvias. A raíz de esto, los esfuerzos de conservación quizá debieran enfocarse en factores antropogénicos directos como la tala, el uso de suelos de manera intrusiva y el monocultivo.

7 REFERENCIAS

Alpers C. N., & G. H. Brimhall. (1988). Middle Miocene climatic change in the Atacama Desert, northern Chile: Evidence from supergene mineralization at La Escondida. *Geological Society of America Bulletin*, 100(10): 1640-1656.

Anavalón A. (2018). Evolución Tectonosedimentaria de los depósitos plio-pleistocenos del Valle Central de Chile, entre los 36°50'S y 38°50'S. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción. Departamento de Ciencias de la Tierra. 89 pp.

Anzótegui, L. M. (1992). Una flora del Mioceno superior (Formación Palo Pintado) del noroeste Argentino. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, 2(1).

Anzótegui, L. M., & Herbst, R. (2004). Megafloora (hojas y frutos) de la Formación San José (Mioceno medio) en río Seco, departamento Santa María, provincia de Catamarca, Argentina. *Ameghiniana*, 41(3), 423-436.

Anzótegui, L. M., Mautino, L. R., Horn, M. Y., Garralla, S. S., & Robledo, J. M. (2019). Paleovegetación del Mioceno tardío del Noroeste de Argentina. Fundación Miguel Lillo. *Opera Lilloana*. 52, 109-130.

Arroyo M. K., Matthei O., Muñoz-schick M., Armesto J., Pliscoff P., Pérez F., & Marticorena C. (2005). Flora de cuatro Reservas Nacionales en la Cordillera de la Costa de la VII Región (35°-36° S), Chile, y su papel en la protección de la

biodiversidad regional. *Historia, biodiversidad y ecología de los bosques costeros de Chile*, 245-252.

Axelrod, D. I., Arroyo, M. K., & Raven, P. H. (1991). Historical development of temperate vegetation in the Americas. *Revista Chilena de Historia Natural*, 64(1991), 413-446.

Barreda VD, Anzótegui LA, Prieto AR, Aceñolaza PG, Bianchi MM, Borromei AM, Brea M *et al.* (2007). Diversificación y cambios de las angiospermas durante el Neógeno en Argentina. In: Archangelsky S, Sánchez T, Tonni EP (eds) *Ameghiniana 50° aniversario, Publicación Especial* 11:173–191

Barreda V. D., L. Palazzesi, R. R. Pujana, C. Panti, M. J. Tapia, D. A. Fernández & S. Noetinger. (2021). The gondwanan heritage of the eocene–miocene patagonian floras. *Journal of South American Earth Sciences*, 107: 103022.

Barreda V., Encinas A. & Hinojosa L. F. (2011). Polen y esporas de la Formación Navidad, Neógeno de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 84(3), 341-355.

Bernardes-de-Oliveira, M. E. C., Garcia, M. J., Caramês, A. G., Dino, R., Antonioli, L., & Saad, A. R. (2014). Evolução paleoclimática paleógena no Brasil: dados paleobotânicos e palinológicos. *Paleontologia: cenários da vida-paleoclimas*, 5, 211-223.

Brea M, Zucol AF (2006) Leños fósiles de Boraginaceae de la Formación Peñas Coloradas (Paleoceno superior), Puerto Visser, Chubut, Argentina. *Ameghiniana* 43:139–14

Brea, M. (2013). Paleoflora de la Formación Paraná (Mioceno tardío), cuenca chaco-paranaense, Argentina. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, 14(1).

Cavieres, L. A., Mihoc, M., Marticorena, A., Marticorena, C., Baeza, C. M., & Arroyo, M. T. (2005). Flora vascular de la Cordillera de la Costa en la región del Bío-Bío: riqueza de especies, géneros, familias y endemismos. *Historia, biodiversidad y ecología de los bosques costeros de Chile*. Editorial Universitaria. 245-242.

Caviglia N. (2017). Análisis morfológico, fitogeográfico y fisonómico de una paleoflora del Mioceno de Tierra del Fuego, Argentina (Doctoral disertación, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales). 194 pp.

Cheuquelao, B. (2019). Geología estructural y Anisotropía de Susceptibilidad Magnética del Plutón Deuco. Memoria para optar al Título de Geóloga. Universidad de Concepción. Departamento de Ciencias de la Tierra. 87 pp.

Cisterna Concha, K. E. (2014). Estudio paleo-palínológico de las taofloras maastrichtianas de Cerro Guido, Río de las Chinas y Dumestre, ciudad de Puerto Natales, Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. Seminario de Título para

optar al Título de Biólogo. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas. 81 pp.

Cisterna K., A. Castillo, P. Giroux, R. Rizzo, A. Manríquez. (2022). Reconocimiento y valoración del desconocido patrimonio paleontológico de la comuna de Nacimiento, Región del Biobío, Chile. *II Congreso Chileno de Paleontología*, San Vicente de Tagua, 2022. 1 p.

Collareta A., O. Lambert, F. G. Marx, C. de Muizon, R. Varas-Malca, W. Landini, G. Bosio, E. Malinverno, K. Gariboldi, A. Gioncada, M. Urbina & G. Bianucci. (2021). Vertebrate Palaeoecology of the Pisco Formation (Miocene, Peru): glimpses into the ancient Humboldt Current ecosystem. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(11): 1188.

D'Apolito C., Jaramillo C. & Harrington G. (2021). Miocene palynology of the Solimões Formation (well 1-AS-105-AM), Western Brazilian Amazonia. *Smithsonian Institution Scholarly Press*.

Elgueta S. & X. Rubio. (1991). Estratigrafía del Terciario del sector occidental de la Depresión Central entre los 37° y 38° S, Chile. *Congreso Geológico Chileno*, 6 p. 723-727.

Encinas A., L. Sagripanti, M. P. Rodríguez, D. Orts, A. Anavalón, P. Giroux, J. Otero, A. Echaurren, P. Zambrano & V. Valencia. (2021). Tectonosedimentary evolution of the Coastal Cordillera and Central Depression of south-Central Chile (36° 30'-42° S). *Earth-Science Reviews*, 213, 103465.

Fanton, J. C. M. (2013). Reconstruindo as florestas tropicais úmidas do Eoceno-Oligoceno do sudeste do Brasil (Bacias de Fonseca e Gandarela, Minas Gerais) com folhas de Fabaceae, Myrtaceae e outras angiosp.ermas: Origens da Mata Atlântica (Doctoral dissertation, [sn]).

Farías, M., S. Carretier, R. Charrier, J. Martinod, A. Tassara, A. Encinas, & D. Comte. (2008). No subsidence in the development of the Central Depression along the Chilean margin. In *7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG), Extended Abstracts: Nice, France, Institut de Recherche pour le Développement (IRD) and the University of Nice-Sophia Antipolis*. 206-209.

Fasola, A. (2013). Estudio palinológico de la formación Loreto (Terciario Medio), provincia de Magallanes, Chile. *Ameghiniana*, 6(1), 3–49.

Fernández, D. A. . (2022). Flora y calentamiento global: Polen y esp.oras fósiles del eoceno de Río Turbio. *Desde La Patagonia. Difundiendo Saberes*, 18(32), 16–21.

Franco, María Jimena. (2012). Maderas fósiles de Lauraceae de la Formación Ituzaingó (Plioceno - Pleistoceno), cuenca del río Paraná, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 14(2), 307-324.

Franco, M. J., Brea, M., Orfeo, O., & Zucol, A. F. (2013). La paleoflora de la Formación Ituzaingó, Argentina. *Asociación Paleontológica Argentina*;

Publicación Especial - Asociación Paleontológica Argentina; 14; 1; 12-2013; 41-55

Frassinetti D. & M. Alberdi. (2001). Revisión y estudio de los restos fósiles de Mastodontes de Chile (Gomphotheriidae): *Cuvieronius hyodon*, Pleistoceno Superior. *Estudios Geológicos* 56. 197-208.

Gana P., & R. Wall. (1997). Evidencias geocronológicas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y K-Ar de un hiatus cretácico superior-eoceno en Chile central ($33-33^{\circ} 30'S$). *Andean Geology*. 24(2). 145-163.

Gayó E, Hinojosa LF, Villagrán C (2005) On the persistence of tropical paleofloras in central Chile during the Early Eocene. *Rev Palaeobot Palynol* 137:41–50

Gandolfo MA, Zamaloa MC (2003) Evolution of Upper Cretaceous and Tertiary Angiosperm floras of Patagonia. 12º Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología (Buenos Aires), Resúmenes, pp 40–41

González CC, Gandolfo MA, Zamaloa MC, Cúneo NR, Wilf P, Johnson KR (2007) Revision of the Proteaceae macrofossil record from Patagonia, Argentina. *Bot Rev* 73:235–266

Grimm E. (2004). Tilia y TGView 2.0.2 Software. Illinois State Museum. Research and Collection Center. Springfield, USA.

Guerstein, G. R. (1990). Palinología estratigráfica del Terciario de la Cuenca del Colorado, República Argentina: Parte III: Estudio sistemático y estadístico de la

perforación Puerto Belgrano N°20. *Revista española de micropaleontología*, 22(3), 459-480.

Guerstein, G. R., Quattrocchio, M., Deschamps, C., & Ruiz, L. (1995). Cenozoic (pre-Pliocene) paleoenvironmental trends based on palynomorphs from the Colorado Basin, Argentina. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, 3(1).

Guerstein, G. R., Rodríguez Raising, M., Casadio, S. A., Marensi, S. A., & Cárdenas, O. (2010). Palinología del Miembro Inferior de la Formación Río Turbio (Eoceno inferior a medio) en el cañón del río Guillermo, sudoeste de Santa Cruz, Argentina. In *X Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y VII Congreso Latinoamericano de Paleontología* (La Plata, 2010).

Gutiérrez N. M. (2011). Diversidad y cambios florísticos durante el Mioceno en Chile central. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile, Santiago, Chile, 71.

Halbritter H., Ulrich S., Grímsson F., Weber M., Zetter R., Hesse M. & Frosch-Radivo, A. (2018). *Illustrated pollen terminology*. Sp.ringer.

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

Heusser C. J. & N. T. Moar (1973) Pollen and spores of Chile: Modern types of the Pteridophyta, Gymnospermae, and Angiospermae, *New Zealand Journal of Botany*, 11:2, 389-391, DOI: 10.1080/0028825X.1973.10430287

Hinojosa Opazo, L. F. (1996). Estudio paleobotánico de dos taofloras terciarias en la Precordillera de Chile Central (La Dehesa) e inferencias sobre la vegetación y el clima terciario de Austrosudamérica. Tesis de Magister para optar al título de Magister en ciencias con mención en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.

Hinojosa L. F. (2005). Cambios climáticos y vegetacionales inferidos a partir de paleofloras cenozoicas del sur de Sudamérica. *Revista geológica de Chile* 32(1). 95-115.

Hinojosa L. F. & C. Villagrán. (1997). Historia de los bosques del sur de Sudamérica, I: antecedentes paleobotánicos, geológicos y climáticos del Terciario del cono sur de América. *Revista Chilena de Historia Natural*, 70(2), 225-239.

Hinojosa, L. F., & Villagrán, C. (2005). Did South American Mixed Paleofloras evolve under thermal equability or in the absence of an effective Andean barrier during the Cenozoic?. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 217(1-2), 1-23.

Hinojosa L. F., J. J. Armesto & C. Villagrán. (2006). Are Chilean coastal forests pre-Pleistocene relicts? Evidence from foliar physiognomy, palaeoclimate, and phytogeography. *Journal of Biogeography*, 33(2), 331-341.

Iglesias, A., Wilf, P., Johnson, K. R., Zamuner, A. B., Matheos, S. D., & Cúneo, R. N. (2007, October). Rediscovery of Paleocene macrofloras in central Patagonia, Argentina. In *Geological Society America Annual Meeting and Exposition, Denver, Colorado Abstracts with Program* (Vol. 585).

Keeley J. E. (2012). Fire in mediterranean climate ecosystems—a comparative overview. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 58(2-3), 123-135.

Lima M, M Salard-Cheboldaeff & K Suguio (1985) Etude palynologique de la Formation Tremembé, Tertiaire du Bassin de Taubaté, (Etat de Sao Paulo, Bresil), D' Apres les Echantillons su sondage N° 42 du CNP. VIII Cong. Bras. Paleont: 1983, MMEDNPM, sér. Geologia N° 27, Paleont:/Estratig N°2

Lima, M. R. D., & Angulo, R. J. (1990). Descoberta de microflora em um nível linhítico da Formação Alexandra, Terciário do Estado do Paraná. *Anais da Academia brasileira de Ciências*, 62(4), 357-71.

Lima M, M Melo & Acoimbra (1991) Palinologia de sedimentos da Baia de Sao Paulo, Terciário do Estado de Sao Paulo, Brasil. *Revista Instituto de Geociências*. 12: 7-20.

Loguercio G. A., Donoso P. J., Müller-Using S., Dezzotti A., Urretavizcaya M. F., Navarro C. O., M. Martin, B. Schlegel, B. Müller-Using, R. Mujica, M. González, H. Attis & M. Caselli. (2018). Silviculture of temperate mixed forests from South America. In *Dynamics, Silviculture and Management of Mixed Forests*. Sp.ringer, Cham. 271-317.

Luebert, F., & Pliscoff, P. (2017). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile (Vol. 2). Santiago, Chile: *Editorial Universitaria*.

Lutz, A. I., & Martínez, L. C. (2007). Nuevo género y especie de liana del Mioceno Superior (Formación Palo Pintado), provincia de Salta, Argentina. *Ameghiniana*, 44(1), 205-213.

Macphail M. & Cantrill D. J. (2006). Age and implications of the Forest Bed, Falkland Islands, southwest Atlantic Ocean: Evidence from fossil pollen and spores. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 240(3-4), 602-629.

Maizatto, J. R. (2001). Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca-Quadrilátero Ferrífero-Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares.

Melnick D., B. Bookhagen, M. R. Strecker & H. P. Echtler. (2009). Segmentation of megathrust rupture zones from fore-arc deformation patterns over hundreds to millions of years, Arauco peninsula, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B1).

Montes C., A. Cardona, R. McFadden, S. E. Morón, C. A. Silva, S. Restrepo-Moreno, D. A. Ramírez, N. Hoyos, J. Wilson, D. Farris, G.A. Bayona, C.A. Jaramillo, V. Valencia, J. Bryan Flores, J. A. (2012). Evidence for middle Eocene and younger land emergence in central Panama: Implications for Isthmus closure. *Geological Society of America Bulletin*, 124(5-6), 780–799.

Moreno P.I., L. G. Marshall, P. Salinas. (1991). Mamíferos Pleistocenos del norte y centro de Chile en su contexto geográfico: una síntesis. En: *VI Congreso Geológico Chileno*. Santiago, 670-673.

Muñoz, J., R. Troncoso, P. Duhart, P. Crignola, L. Farmer & C. R. Stern. (2000). The relation of the mid-Tertiary coastal magmatic belt in south-central Chile to the late Oligocene increase in plate convergence rate. *Revista geológica de Chile*, 27(2), 177-203.

Náñez, C., Quattrocchio, M. E., & Ruiz, L. (2009). Palinología y micropaleontología de las Formaciones San Julián y Monte León (Oligoceno-Mioceno temprano) en el subsuelo de cabo Curioso, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Ameghiniana*, 46(4), 669-693.

Nichols D. J. & K. R. Johnson. (2008). Plants and the KT Boundary. *Cambridge University Press*, New York. 280 pp.

Nishida M. (1972). The anatomy and affinities of the petrified plants from the tertiary of Chile, I. Contr. to the botany of the Andes I. (Ed. M. Nishida): 81-85. *Academia Scientific Book Inc. Tokyo*.

Okuda M, Nishida H, Uemura K, Yabe A (2006) Paleocene/Eocene pollen assemblages from the Ligorio Márquez Formation, Central Patagonia, XI Region, Chile. In: Nishida H, (ed) Post-Cretaceous floristic changes in southern patagonia, chile. Chuo University, Tokyo, pp 37–43

Palazzesi, L., & Barreda, V. (2004). Primer registro palinológico de la Formación Puerto Madryn, Mioceno de la provincia del Chubut, Argentina. *Ameghiniana*, 41(3), 355-362.

Palazzesi L, Barreda V (2007) Major vegetation trends in the Tertiary of Patagonia (Argentina): a quantitative paleoclimatic approach based on palynological evidence. *Flora* 202:328–337

Palma-Heldt, S. 1983, ESTUDIO PALINOLOGICO DEL TERCARIO SEDIMENTARIO DE LONQUIMAY, PROVINCIA DE MALLECO, CHILE.. *Revista Geológica de Chile* 0 (18) .

Petriella B & S Archangelsky (1975) Vegetación y ambiente en el Paleoceno de Chubut. *Actas 1 Congreso Argentino de Paleontología y Biostratigrafía* 1: 257-269.

Prámparo MB, Quattrocchio M, Gandolfo MA, Zamaloa MC, Romero E (2007) Historia evolutiva de las angiospermas (Cretácico-Paleógeno) en Argentina a través de los registros paleoflorísticos. In: Archangelsky S, Sánchez T, Tonni EP (eds) *Ameghiniana 50° aniversario*, Publicación Especial 11:157–172

Punt W., P. P. Hoen, S. Blackmore, S. Nilsson & A. Le Thomas. (2007). Glossary of pollen and spore terminology. *Review of palaeobotany and palynology*, 143(1-2), 1-81.

Quattrocchio, M. E., & Volkheimer, W. (2000). Paleoclimatic changes during the Paleocene-Lower Eocene in the Salta Group Basin, NW Argentina. *In Southern Hemisp.here Paleo-and Neoclimates: Key Sites, Methods, Data and Models* (pp. 353-367). Berlin, Heidelberg: Sp.ringer Berlin Heidelberg.

Ramos C., K. Cisterna, A. Castillo, P. Giroux, R. Riffo, A. Manríquez, P. Zambrano. (2022). Análisis sobre el origen de los depósitos asociados a la presencia de maderas fósiles en la comuna de nacimiento, Región del Biobío, Chile. // *Congreso Chileno de Paleontología*, San Vicente de Tagua, 2022. 1 pp.

Raine J.I., D.C. Mildenhall, E.M. Kennedy. (2011). New Zealand fossil sp.ores and pollen: an illustrated catalogue. 4th edition. *GNS Science miscellaneous series no. 4*. <http://data.gns.cri.nz/sp.orepollen/index.htm>

R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Robledo, J. M., Horn, M. Y., Galli, C. I., & Anzótegui, L. M. (2020). Inferencias paleoclimáticas para el Mioceno tardío en la cuenca de Angastaco basadas en el análisis fisionómico foliar: Formación Palo Pintado, Salta, Argentina. *Andean geology*, 47(2), 418-429.

Robledo, J. M., Anzótegui, L. M., Martínez, O. G., & Alonso, R. N. (2020). Flora and insect trace fossils from the Mio-Pliocene Quebrada del Toro locality

(Gobernador Solá, Salta, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 100, 102544.

Rodríguez, R., C. Marticorena, D. Alarcón, C. Baeza, L. Cavieres, V.L. Finot, N. Fuentes, A. Kiessling, M. Mihoc, A. Pauchard, E. Ruiz, P. Sanchez & A. Marticorena. (2018). Catálogo de las plantas vasculares de Chile. *Gayana Botánica* 75(1): 1-430.

Romero EJ (1993) South American paleofloras. In: Goldblatt P, (ed) Biological relationships between Africa and South America. *Yale University Press*, New Haven, CT/London, pp 62–85

Rondanelli M. J. & S. palma (1991) Improntas del Mioceno de los Estratos del Río Pedregoso. Lonquimay, Chile (38°38' S, 71 °08'W). *VIII Reunión Nacional de Botánica*, Sociedad de Botánica de Chile: 110.

Rundel P. W., M. T. Arroyo, R. M. Cowling, J. E. Keeley, B. B. Lamont & P. Vargas. (2016). Mediterranean biomes: evolution of their vegetation, floras, and climate. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47(1), 383-407.

Salgado González, B. (2020). Evaluación del cambio de distribución esp.acial de las especies arbóreas *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides* entre los escenarios ambientales actuales y futuros con condiciones de cambio climático (año 2070) presentes en los países de Perú, Bolivia, Argentina y Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175846>

Sandoval, C. A., Hinojosa, L. F., & Abarzúa, A. M. (2018). Análisis florístico y reconstrucción climática en base a ensamblajes foliares fósiles de los Estratos de San Pedro (oligoceno-Mioceno), región de los ríos, Chile. Trabajo de titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile. 24 pp.

Scher H. D. & E. E. Martin. (2006). Timing and Climatic Consequences of the Opening of Drake Passage. *Science*, 312(5772), 428–430.

Smith-Ramírez C., Pliscoff P., Teillier S. & Barrera E. (2005). Patrones de riqueza y distribución de la flora vascular en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Osorno y Llanquihue, Chile. *Historia, biodiversidad y ecología de los bosques costeros de Chile*. Editorial Universitaria. 253-277.

Tapia M. J. (2019). Palinología de la Formación El Chacay, Mioceno inferior de la Cuenca Austral, provincia de Santa Cruz, Argentina (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).

Torres, T., Méon, H., Otero, R. A., Galleguillos, H., & Pintana, S. (2009, November). Palinoflora y macroflora de la Formación Loreto, Punta Arenas, Región de Magallanes, Chile. *In Congreso Geológico Chileno* (No. 12).

Torres T., F. A. Mourgues & A. Anchelergues. (2016). Rescate Patrimonial y clasificación taxonómica de maderas fósiles, Angol, Araucanía, Chile. *V Simposio de Paleontología en Chile*, Concepción. 107-109

Troncoso, A. (1991). Paleomegafloora de la Formación Navidad, Miembro Navidad (Mioceno), en el área de Matanzas, Chile central occidental. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, 42, 131-168.

Troncoso A., A. . (1992). La tafloora terciaria de Quinamávida (VII Región, Chile). *Boletín Museo Nacional De Historia Natural*, 43, 155–178.

Troncoso A. & E. J. Romero. (1998). Evolución de las comunidades florísticas en el extremo sur de Sudamérica durante el Cenofítico. *Monographs in Systematic Botany*, 149-172.

Troncoso A, San Martín A (1999) Presencia del género *Escallonia* (Magnoliopsida, Escalloniaceae) en el Terciario de Chile Central. *Bol Mus Nac Hist Nat* (Chile) 48:29–36

Troncoso, A., Suárez, M., De la Cruz, R., & Palma-Heldt, S. (2002). Paleoflora de la Formación Ligorio Márquez (XI Región, Chile) en su localidad tipo: sistemática, edad e implicancias paleoclimáticas. *Revista geológica de Chile*, 29(1), 113-135.

Troncoso A. & A. Encinas. (2006). La tafloora de cerro Centinela (Chile, VI Región): vegetación y clima de Chile central a fines del Mioceno-comienzos del Plioceno. *Ameghiniana*, 43(1), 171-180.

Truswell EM (1990) Cretaceous and tertiary vegetation of Antarctica: a palynological perspective. In: Taylor TN, Taylor EL, (eds) Antarctic paleobiology: its role in the reconstruction of Gondwana. Springer-Verlag, New York, pp 71–88

Villagrán C. & Hinojosa L. F. (1997). Historia de los bosques del sur de Sudamérica, II: Análisis fitogeográfico. *Revista Chilena de Historia Natural*, 70(2), 1-267.

Villagrán C., L. F. Hinojosa, J. Llorente-Bousquets & J. J. Morrone. (2005). Esquema biogeográfico de Chile. *Regionalización Biogeográfica en Iberoamérica y Tópicos Afines: Primeras Jornadas Biogeográficas de la Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática. Las prensas de Ciencias, UNAM, Mexico City*, 551-557.

Wall R. & S. Palma. (1991). El Terciario Carbonífero de Huequén, Cuenca de Angol, Provincia de Malleco, Sur de Chile. *Congreso Geológico Chileno*. p. 406-409.

Wilf, P. (2003). High Plant Diversity in Eocene South America: Evidence from Patagonia. *Science*, 300(5616), 122–125. doi:10.1126/science.1080475

Wilf, P., Johnson, K. R., Cuneo, N. R., Smith, M. E., Singer, B. S., & Gandolfo, M. A. (2005). Eocene plant diversity at Laguna del hunco and Río pichileufú, Patagonia, Argentina. *The American Naturalist*, 165(6), 634-650.

Wilf P, Gandolfo MA, Johnson KR, Cúneo R (2007) Biogeographic significance of the Laguna del Hunco flora, Early Eocene of Patagonia, Argentina. *Abstract GSA Denver Annual Meeting (28–31 October 2007)*

Zachos J. (2001). Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. *Science*, 292(5517), 686–693. doi:10.1126/science.1059412

Zucol, A. F., Brea, M., Lutz, A., & Anzótegui, L. M. (2004). Aportes al conocimiento de la paleobiodiversidad del Cenozoico superior del Litoral argentino: Estudios paleoflorísticos. *INSUGEO Miscelánea*, 12, 91-102.

8 ANEXOS

Anexo 1. Conteo de palinomorfos

| Taxón Fósil | Afinidad | Conteo | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Pinophyta | CLS- PO-01 | PCV- PO-07 | PCV- PO-08 | PCV- PO-02 | PCV- PO-04 | PCV- PO-05 | PCV- PO-06 |
| <i>Araucariacites australis</i> | <i>Araucaria araucana</i> | 5 | 0 | 3 | 10 | 2 | 0 | 0 |
| <i>Cupressacites</i> sp. 1 | <i>Fitzroya cupressoides</i> | 61 | 7 | 16 | 58 | 17 | 1 | 15 |
| <i>Cupressacites</i> sp. 2 | <i>Austrocedrus chilensis</i> | 46 | 19 | 41 | 48 | 31 | 8 | 14 |
| Magnoliophyta | | | | | | | | |
| <i>Monosulcites</i> sp. | Cf. <i>Nothoscordum flavescens</i> | 5 | 0 | 0 | 1 | 7 | 3 | 0 |
| <i>Liliacidites</i> sp. | Cf. <i>Miersia</i> sp. | 0 | 65 | 1 | 0 | 44 | 61 | 15 |
| <i>Polyadopollenites</i> sp. 2 | Cf. <i>Dipolepis</i> sp. | 6 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Polyadopollenites</i> sp. 3 | Cf. <i>Dipolepis</i> sp. | 4 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Palmidites maximus</i> | <i>Greigia</i> sp. | 4 | 1 | 1 | 4 | 0 | 3 | 0 |
| <i>Caryophyllidites</i> sp. | <i>Colobanthus</i> sp. | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| <i>Dicolpopollis</i> sp. 1 | <i>Eucryphia</i> sp. | 4 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 |
| <i>Dicolpopollis</i> sp. 2 | <i>Caldcluvia paniculata</i> | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Margocolporites scabratus</i> | <i>Sophora macrocarpa</i> | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 |
| <i>Margocolporites</i> sp. | <i>Sophora</i> sp. | 0 | 7 | 3 | 0 | 14 | 6 | 0 |
| <i>Polyadopollenites</i> sp. 1 | <i>Vachellia caven</i> | 69 | 2 | 11 | 94 | 40 | 5 | 7 |
| <i>Inaperturopollenites</i> sp. 1 | Cf. <i>Cryptocarya alba</i> | 7 | 46 | 2 | 4 | 13 | 18 | 4 |
| <i>Inaperturopollenites</i> sp. | <i>Persea lingue</i> | 0 | 37 | 0 | 0 | 36 | 49 | 8 |
| <i>Myrtaceidites</i> sp. | <i>Myrceugenia obtusa</i> | 7 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 |
| <i>Nothofagidites saraensis</i> | <i>Nothofagus</i> subgen. <i>Nothofagus</i> | 5 | 32 | 0 | 3 | 25 | 80 | 0 |
| <i>Nothofagidites flemingii</i> | <i>Nothofagus</i> subgen. <i>lophozonia</i> | 0 | 1 | 0 | 1 | 14 | 2 | 0 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|----|----|---|----|----|----|---|
| Orchidaceae | <i>Cf. Brachystele unilateralis</i> | 0 | 0 | 0 | 40 | 3 | 2 | 2 |
| <i>Graminidites media</i> | <i>Nassella</i> sp. | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| <i>Proteacidites</i> sp. | <i>Lomatia dentata</i> | 0 | 2 | 0 | 0 | 16 | 18 | 4 |
| <i>Granodiporites nebulosus</i> | <i>Embothrium coccineum</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 8 | 0 | 0 |
| <i>Tricolpites asp. eramarginis</i> | <i>Donatia fascicularis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| <i>Arecipites waitakiensis</i> | <i>Conanthera bifolia</i> | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Indeterminado | <i>Angiosp. erma</i> | 15 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Pteridophyta | | | | | | | | |
| <i>Laevigatosp. orites</i> sp. | <i>Austroblechnum</i> sp. | 36 | 0 | 0 | 10 | 7 | 3 | 1 |
| <i>Laevigatosp. orites ovatus</i> | <i>Austroblechnum penna-marina</i> | 4 | 24 | 2 | 6 | 2 | 0 | 0 |
| <i>Peromonolites vellosus</i> | <i>Cf. Austroblechnum</i> sp. | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Laevigatosp. orites major</i> | <i>Austroblechnum</i> sp. | 1 | 44 | 1 | 0 | 0 | 4 | 1 |
| <i>Cyathidites</i> sp. | <i>Cf. Austrolycopodium</i> sp. | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 12 | 0 |
| <i>Cyathidites minor</i> | <i>Austrolycopodium</i> sp. | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 8 | 1 |
| <i>Ischyosp. orites areapunctatis</i> | <i>Botrychium dusenii</i> | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| <i>Trilites</i> sp. | <i>Cf. Adiantum</i> sp. | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Cingulatisp. orites lachlanae</i> | <i>Cf. Adiantum</i> sp. | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |

Anexo 2. Fotografías de palinomorfos.

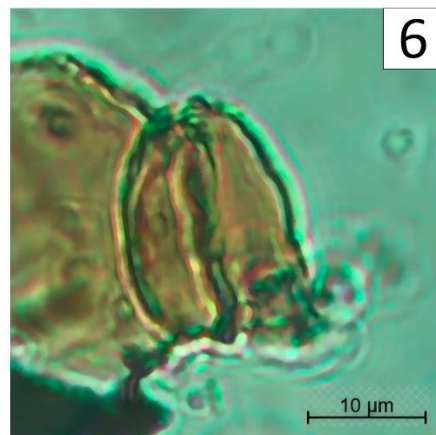
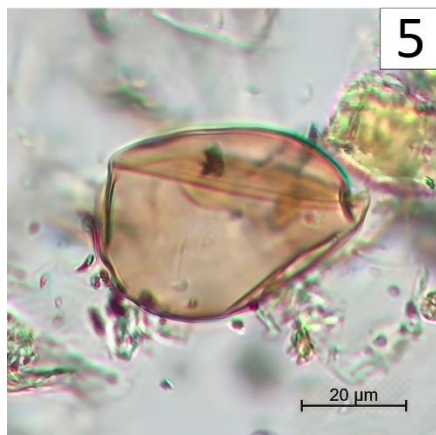


Lámina 1. (1) *Araucariacites australis*, (2) *Cupressacites* sp. 1, (3) *Cupressacites* sp. 2, (4) *Graminidites media*, (5) *Palmidites maximus*, (6) *Arecipites waitakiensis*.

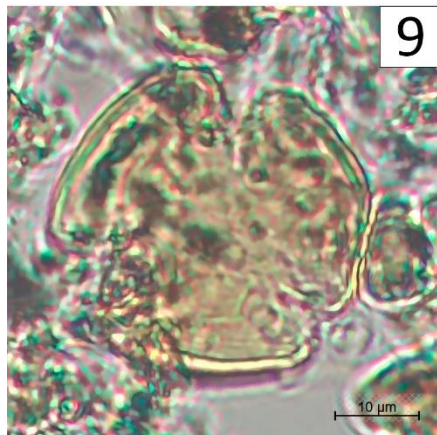
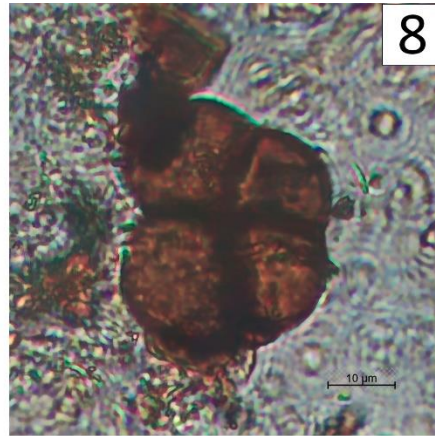


Lámina 2. (7) *Monosulcites* sp., (8) , (9) *Tricolpites asp.eramarginis*, (10) *Liliacidites intermedius*, (11) *Dicolpopollis* sp. 1, (12) *Margocolporites scabratus*.

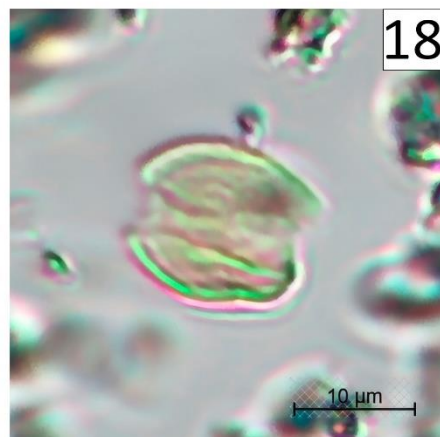
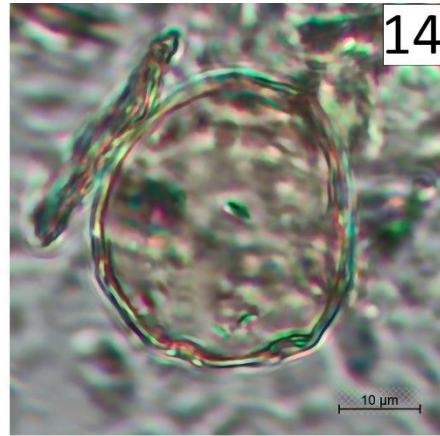
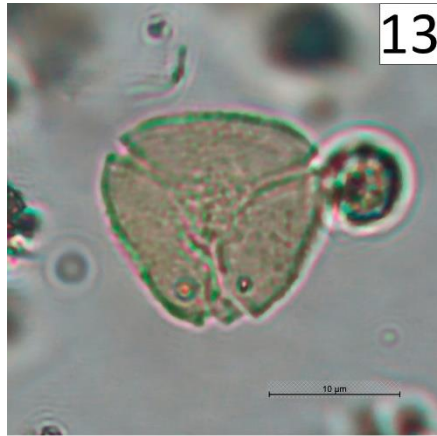


Lámina 3. (13) *Myrtaceidites* sp., (14) *Inaperturopollenites* sp. 1, (15) y (16) *Nothofagidites saraensis*, (17) *Margocolporites* sp., (18) *Dicolpopollis* sp. 2.

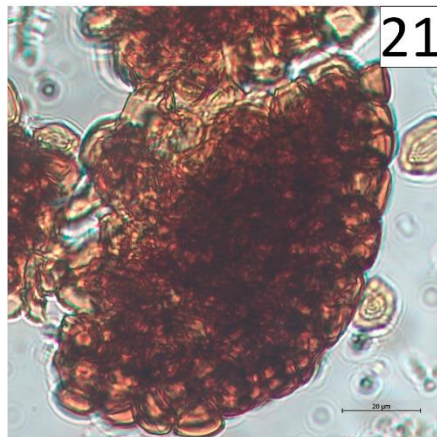
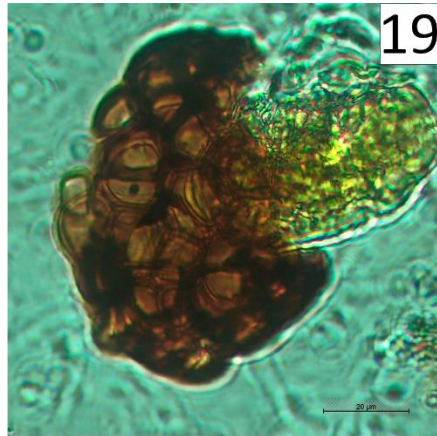


Lámina 4. (19) *Polyadopollenites* sp. 1, (20) *Polyadopollenites* sp. 2, (21) *Polyadopollenites* sp. 3, (22) *Caryophyllidites* sp., (23) *Nothofagidites flemingii*, (24) *Proteacidites* sp.

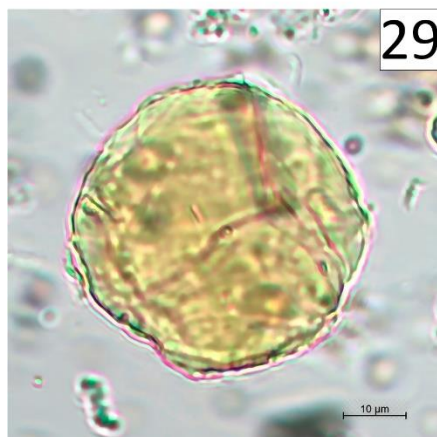


Lámina 5. (25) *Inaperturopollenites* sp., (26) *Banksiaeidites arcuatus*, (27) *Laevigatosp.rites* sp., (28) *Laevigatosp.rites ovatus*, (29) *Trilites* sp., (30) *Peromonolites vellosus*.

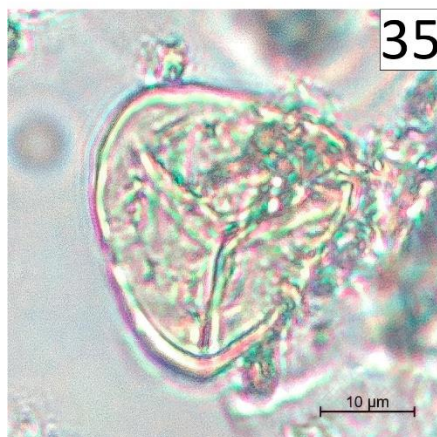
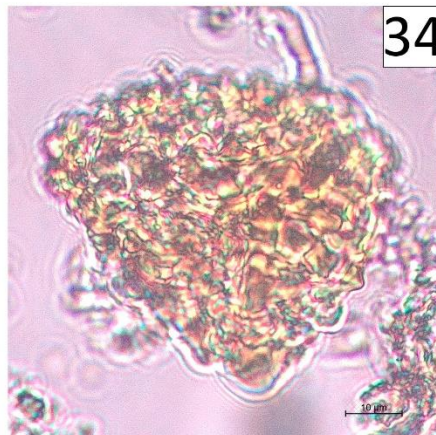
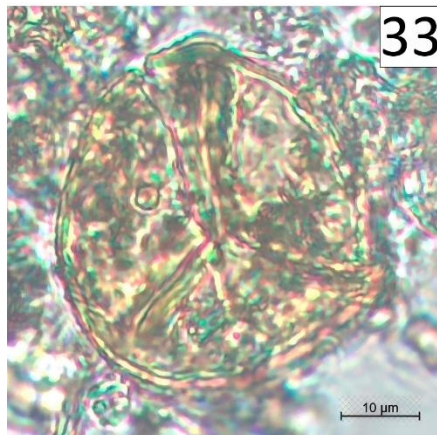


Lámina 6. (31) *Laevigatosp. orites major*, (32) *Cyathidites* sp., (33) *Cingulatisp. orites lachlanae*, (34) *Ischyosp. orites areapunctatis*, (35) *Cyathidites minor*, (36) Indeterminado.

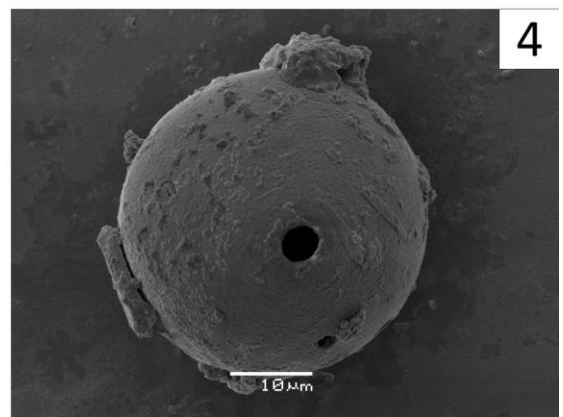
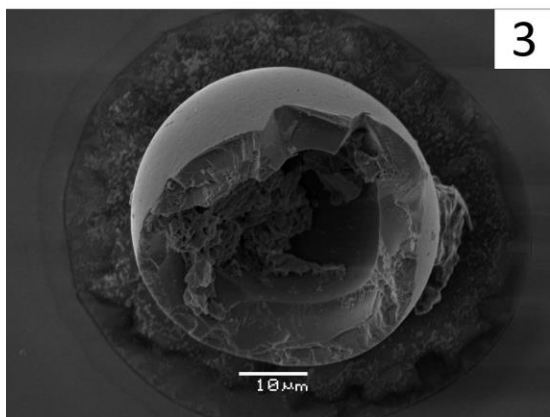
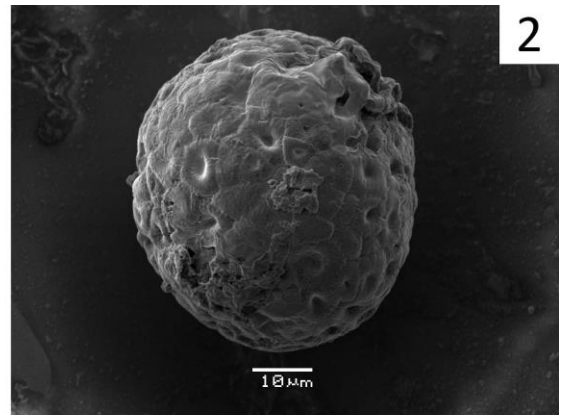
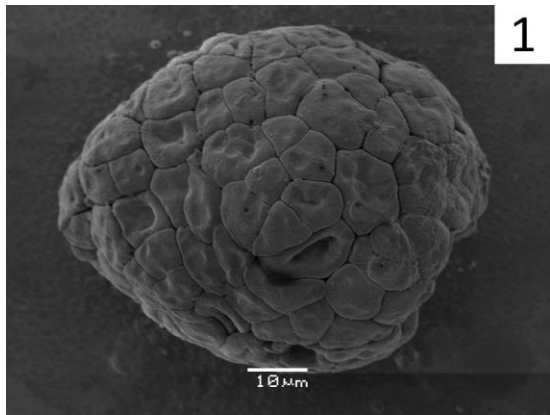


Lámina 7. (1-2) *Polyadopollenites* sp. 1, (3) *Cupressacites* sp. 1, (4) *Graminidites media*.