



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS



**“APORTE DE LA PALINOLOGÍA A LAS INTERPRETACIONES
AMBIENTALES Y CLIMÁTICAS EN SECUENCIAS PALEÓGENAS
DE LA CUENCA DE ARAUCO, EN LAS REGIONES DEL MAULE Y
DEL BIOBÍO”**

Seminario de título presentado para optar al título profesional de Biólogo en la
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de
Concepción

Francisca Alejandra Beltrán Echeverría

Concepción, enero de 2024



Profesor Guía

Msc. Sylvia Cecilia Palma Heldt

Profesores Evaluadores

Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn

Dr. Patricio Gerardo López Sepúlveda

Profesor Coordinador Seminario de Título

Dr. Víctor Hernández Santander



Concepción, 2024

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a las siguientes personas por la ayuda recibida en la elaboración de mi seminario de título:

A mi profesora guía, Sylvia Palma-Heldt, por su dedicación, paciencia y conocimientos compartidos durante todo el proceso de investigación. Agradezco su tiempo, disposición y sus críticas constructivas en virtud de mejorar la versión final del manuscrito.

A los miembros de la comisión evaluadora, Dr. Luis Arturo Quinzio y Dr. Patricio López, por su tiempo y dedicación en la revisión y evaluación del trabajo.

Deseo reconocer el apoyo emocional y económico recibido durante mi pregrado por parte de mi familia, destacando el trabajo de mis padres, Cristina Echeverría y Mauro Beltrán, por mi bienestar y brindarme una mejor educación. Agradezco su amor y apoyo para que pudiera alcanzar mis metas académicas. Asimismo, Agradezco a mis amigos más cercanos, que fueron una parte fundamental de mi vida en estos últimos años.

Al Grupo Scout K-2, que me brindó los valores para ser perseverante en el trabajo y levantarme, teniendo en mente no desmotivarme jamás. Los valores adquiridos me han sacado adelante y me ayudaron a recordar que un scout ríe y canta ante las dificultades.



ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	9
RESUMEN	11
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. Objetivo general	13
1.1.2. Objetivos específicos	13
1.2. UBICACIÓN	13
1.3. MÉTODO DE TRABAJO	16
1.3.1. Etapa preliminar	16
1.3.2. Etapa de laboratorio	16
1.3.3. Etapa de análisis	17
1.4. TRABAJOS ANTERIORES	18
2. MARCO GEOLÓGICO	20
2.1. Cuenca de Arauco	20
2.1.2. Formación Quiriquina	22
2.1.3. Formación Pilpilco	22
2.1.4. Grupo Lebu	23
2.1.4.1. Formación Curanilahue	23
2.1.4.2. Formación Boca Lebu	23
2.1.4.3. Formación Trihueco	23
2.1.4.4. Formación Millongue	24
2.1.4.5. Formación Ranquil	24
2.1.4.6. Formación Tubul	24

3. ESTUDIO PALINOLÓGICO	25
3.1. Generalidades	25
3.1.1. Formación Quiriquina	25
3.1.2. Formación Curanilahue	25
3.1.3. Límite Cretácico-Paleógeno	26
3.1.4. Zona Trehualemu-Cobquecura	26
3.2. LISTA DE PALINOMORFOS IDENTIFICADOS	27
3.3. PALINOLOGÍA SISTEMÁTICA	29
3.4. ANÁLISIS DE PORCENTAJES	55
3.4.1. Trehualemu	55
3.4.2. Dichato hacia Coliumo	57
3.4.3. Cocholgüe	59
3.4.4. Penco	61
3.4.5. Lomas de Bellavista	63
3.4.6. Mina Schwager	65
3.4.7. Distrito Laraquete	67
3.4.8. Mina Trongol	69
3.4.9. Río Pilpilco	71
3.5. PALINOMORFOS INDICADORES DE AMBIENTE Y CONDICIONES DEL SUSTRATO	74
3.5.1. <i>Haloragacidites harrisii</i>	74
3.5.2. <i>Spinizonocolpites echinatus</i>	76
3.5.3. <i>Botryococcus</i> sp.	78
3.5.4. <i>Exesisporites</i> sp.	79
3.5.5. <i>Nothofagidites</i> sp.	80
3.6. ASOCIACIONES DE PALINOMORFOS	82
3.6.1. <i>Haloragacidites harrisii</i>, <i>Clavifera triplex</i> y <i>Gleicheniidites senonicus</i>	82
3.6.2. <i>Gleicheniidites senonicus</i> y <i>Cyathidites minor</i>	82
3.6.3. <i>Araucariacites australis</i>, <i>Podocarpidites</i> sp. y <i>Nothofagidites</i> sp.	83
3.7. PALEOAMBIENTES	84
3.7.1. Trehualemu	84
3.7.2. Dichato hacia Coliumo	85

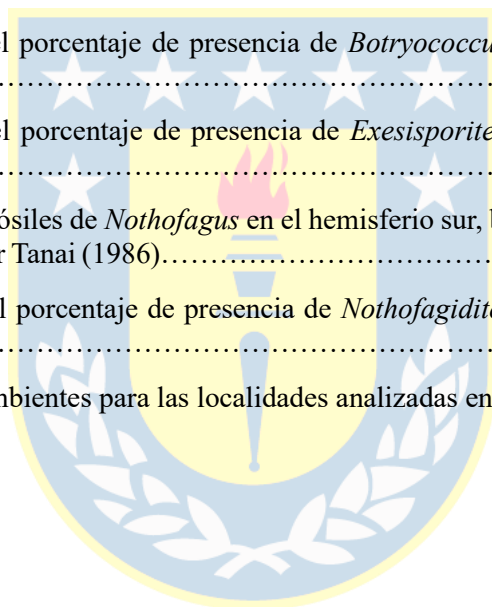
3.7.3. Cocholgüe	85
3.7.4. Penco	86
3.7.5. Lomas de Bellavista	87
3.7.6. Mina Schwager	87
3.7.7. Distrito Laraquete de Mina Lota	88
3.7.8. Mina Trongol	89
3.7.9. Río Pilpilco	89
3.8. PALEOCLIMA	91
4. CONCLUSIONES	93
REFERENCIAS	95
ANEXO	105



ÍNDICE DE FIGURAS

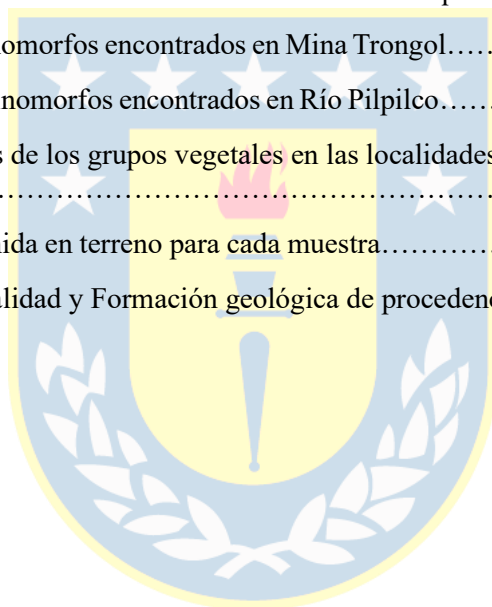
Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio y localidades de colecta en la Cuenca de Arauco. Las localidades comprenden, de norte a sur: Trehualemu 1, Trehualemu 2, Camino de Dichato hacia Coliumo, Cocholgüe, Penco, Lomas de Bellavista, Mina Schwager, Distrito Laraquete de Mina Lota, Mina Trongol 1 y 2, y Río Pilpilco.....	15
Figura 2. Mapa geológico de la Península de Arauco, realizado por Pineda (1983) y modificado por Bonilla <i>et al.</i> (2009).....	21
Figura 3. Esporas de alga y hongos epífitos y saprófitos. A: <i>Botryococcus</i> sp. B: <i>Dicellaesporites</i> sp. C: <i>Exesisporites</i> sp. D: <i>Lacrimasporonites</i> sp. E: <i>Multicellaesporites</i> sp. F: <i>Unicellaesporites</i> sp. Escala: 10 micrómetros.....	32
Figura 4. Esporas de briófitas. A: <i>Cingutriteles</i> sp. B: <i>Stereisporites antiquasporites</i> . Escala: 10 micrómetros.....	33
Figura 5. Esporas de helechos. A: <i>Auritulinasporites scanicus</i> . B: <i>Clavifera triplex</i> . C: <i>Cyathidites australis</i> . D: <i>Cyathidites concavus</i> . E: <i>Cyathidites minor</i> . F: <i>Gleicheniidites senonicus</i> . G: <i>Laevigatosporites ovatus</i> . H: <i>Laevigatosporites vulgaris</i> . I: <i>Peromonolites bowenii</i> . J: <i>Trilites</i> sp. K: cf. <i>Verrucosisporites</i> sp. Escala: 10 micrómetros.....	39
Figura 6. Granos de polen de gimnospermas. A: <i>Araucariacites australis</i> . B: <i>Bisaccites</i> sp. C: <i>Lygistepollenites florinii</i> . D: <i>Podocarpidites marwickii</i> . E: <i>Podocarpidites otagoensis</i> . F: <i>Trisaccites</i> sp. Escala: 10 micrómetros.....	43
Figura 7. Granos de polen de angiospermas. A: <i>Bombacacidites isoreticulatus</i> . B: <i>Haloragacidites harrisii</i> . C: <i>Liliacidites kaitangataensis</i> . D: <i>Liliacidites variegatus</i> . E: <i>Malvacipollis</i> sp. F: <i>Monocolpites</i> sp. G: <i>Myrtaceidites eugeniioides</i> . H: <i>Myrtaceidites parvus</i> . I: <i>Nothofagidites cincta</i> . J: <i>Nothofagidites cranwellae</i> . Escala: 10 micrómetros.....	49
Figura 8. Granos de polen de angiospermas. A: <i>Proteacidites crassus</i> . B: <i>Proteacidites parvus</i> . C: <i>Proteacidites</i> sp. D: <i>Psilatricolpites</i> sp. E-F: <i>Spinizonocolpites echinatus</i> . G: <i>Retitricolpites</i> sp. H: <i>Tricolpites</i> sp. I: <i>Tricolporites</i> sp. Escala: 10 micrómetros.....	54
Figura 9. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Trehualemu.....	55
Figura 10. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en el camino de Dichato hacia Coliumo.....	57
Figura 11. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Cocholgüe.....	59
Figura 12. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Penco.....	61
Figura 13. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Lomas de Bellavista.....	63
Figura 14. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Mina Schwager.....	65

Figura 15. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Distrito Laraquete.....	67
Figura 16. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Mina Trongol.....	69
Figura 17. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Río Pilpilco.....	71
Figura 18. Comparación del porcentaje de presencia de <i>Haloragacidites harrisii</i> en las localidades de la Cuenca de Arauco.....	75
Figura 19. Mapa de la distribución geográfica actual (línea continua) y durante el Eoceno (círculos negros, línea punteada) de <i>Nypa</i> y su polen fósil, <i>Spinizonocolpites</i> spp., realizado por Rull (1998).....	76
Figura 20. Comparación del porcentaje de presencia de <i>Spinizonocolpites echinatus</i> en las localidades de la Cuenca de Arauco.....	77
Figura 21. Comparación del porcentaje de presencia de <i>Botryococcus</i> sp. en las localidades de la Cuenca de Arauco.....	78
Figura 22. Comparación del porcentaje de presencia de <i>Exesisporites</i> sp. en las localidades de la Cuenca de Arauco.....	79
Figura 23. Distribución de fósiles de <i>Nothofagus</i> en el hemisferio sur, basado en polen, improntas de hojas y madera, realizado por Tanai (1986).....	80
Figura 24. Comparación del porcentaje de presencia de <i>Nothofagidites</i> sp. en las localidades de la Cuenca de Arauco.....	81
Figura 25. Mapa de paleoambientes para las localidades analizadas en la cuenca de Arauco.....	91



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Unidades Litoestratigráficas de la Cuenca Carbonífera de Arauco. Modificado de Bonilla <i>et al.</i> , 2021)	20
Tabla 2. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Trehualemu.....	56
Tabla 3. Porcentajes de palinomorfos encontrados en camino de Dichato hacia Coliumo.....	58
Tabla 4. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Cocholgüe.....	60
Tabla 5. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Penco.....	62
Tabla 6. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Lomas de Bellavista.....	64
Tabla 7. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Mina Schwager.....	66
Tabla 8. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Distrito Laraquete.....	68
Tabla 9. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Mina Trongol.....	70
Tabla 10. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Río Pilpilco.....	72
Tabla 11. Porcentajes totales de los grupos vegetales en las localidades contempladas en el análisis palinológico.....	73
Tabla 12. Información obtenida en terreno para cada muestra.....	105
Tabla 13. Coordenadas, localidad y Formación geológica de procedencia de las muestras.....	106





RESUMEN

Los vegetales son verdaderos termómetros del pasado, ya que desempeñan un excelente papel como indicadores de ambiente y clima a lo largo de la historia del planeta. El análisis de palinomorfos fósiles es una importante herramienta estratigráfica que permite la interpretación paleoecológica, climática y geográfica de las zonas bajo estudio, entregando antecedentes que aclaran la evolución de la paleoflora. En Chile Central se encuentra la Cuenca sedimentaria de Arauco ($35^{\circ}59' - 37^{\circ}45' S$; $72^{\circ}50' - 73^{\circ}41' W$), conocida desde mediados del siglo XIX por sus yacimientos de carbón. Gracias a los estudios geológicos, producto de la minería, se ha obtenido un amplio registro florístico que ha despertado el interés del quehacer paleontológico durante décadas.

La Cuenca de Arauco, desarrollada desde Trehualem, Región del Maule ($36,00^{\circ} S$; $72,77^{\circ} W$) hasta Lebu, Región del Biobío ($37,61^{\circ} S$; $73,65^{\circ} W$), corresponde a una cuenca de antearco conformada por sedimentitas marinas y continentales, cuyo desarrollo se inició en el Cretácico Superior (Maastrichtiano).

En este estudio, se revisaron 21 muestras palinológicas procedentes de distintas localidades de la Cuenca de Arauco, que abarcan distintos periodos y contextos geológicos, en busca de evidencias esporopolínicas que permitan inferir condiciones paleoambientales. El material fue recolectado en las localidades de Trehualem, camino de Dichato hacia Coliumo, Cocholgüe, Penco, Lomas de Bellavista, Mina Schwager, Distrito Laraquete de Mina Lota, Mina Trongol y Río Pilpilco.

Se presentan análisis de porcentajes de palinomorfos y grupos vegetales para las localidades analizadas y se obtienen conclusiones de clima y ambiente derivadas del análisis palinológico, basado en la frecuencia de los principales palinomorfos indicadores de ambiente y asociaciones esporopolínicas identificadas.

Entre los resultados obtenidos, se tiene el reporte de un total de 43 morfotipos de polen esporas, de los cuales 27 se identificaron a nivel de morfoespecie, 15 como morfogénero y 1 como morfogénero conferido. Estos palinomorfos permitieron identificar tres tipos de ambiente predominantes, bosque templado lluvioso, bosque tropical lluvioso y zonas con vegetación de manglar. Se determinaron las zonas en las que se encuentra la denominada flora de transición y la aparición de los primeros granos de polen de *Nothofagus* en la cuenca de Arauco, al pasar de un clima tropical lluvioso, durante el Paleoceno con la depositación del Miembro Lota de la Formación Curanilahue, hacia un clima templado lluvioso en el Miembro Colico, a mediados del Eoceno.

1. INTRODUCCIÓN

Los vegetales son considerados verdaderos termómetros del pasado, ya que desempeñan un papel fundamental como indicadores de clima y ambiente a lo largo de las épocas geológicas (S. Palma-Heldt, com. pers. 10 de junio de 2022). En este contexto, las principales aplicaciones de la Paleobotánica se orientan al conocimiento de las plantas fósiles con el fin de resolver problemas de evolución a través de la morfología comparada, al estudio de la distribución de los vegetales en el pasado y del clima existente en los distintos periodos geológicos. Sin embargo, debido a su constitución, al morir los vegetales sufren modificaciones o son destruidos fácilmente por agentes mecánicos, químicos o biológicos. Esta dificultad puede ser sorteada a través del análisis de los microfósiles vegetales conocidos como palinomorfos, los cuales se conservan a través del tiempo geológico dentro de diferentes tipos de sedimento sin cambiar radicalmente su composición original gracias a sustancias químicas (polímeros) sumamente resistentes tales como la cutina, la quitina y la esporopolenina. Una gran cantidad de polen esporas fósiles pueden pertenecer a plantas de las que no se han conservado restos macroscópicos e incluso a vegetales pertenecientes a taxa enteramente fósiles. Debido a su gran abundancia, difusión y prevalencia ante los agentes destructivos de la materia orgánica, los palinomorfos están distribuidos desde hace millones de años en los sedimentos, tanto marinos como continentales, siendo testimonio de la evolución biológica y entregando una imagen mucho más completa de la distribución de la vegetación en el tiempo y en el espacio (Rueda, 1975).

El análisis de polen esporas fósiles permite elaborar conclusiones sobre aspectos paleoecológicos, climáticos y geográficos de las zonas bajo estudio, ofreciendo antecedentes sobre la evolución de los paisajes. Las esporas y granos de polen son producidos por las plantas como parte de sus ciclos reproductivos y tras ser liberados al ambiente pueden ser transportados por el viento, el agua, seres vivos, entre otros agentes, y depositarse en los sedimentos, donde se preservan dependiendo de las condiciones geoquímicas del suelo, constituyendo un registro de la variación en la composición de las comunidades vegetales pasadas y de los cambios ambientales (Lozano *et al.*, 2017). La dispersión del polen está influenciada por factores biológicos, topográficos y climáticos como la temperatura, la humedad y la velocidad del viento, lo que implica que diferentes tipos de polen estarán presentes en distintos ambientes. El conocimiento de la distribución de los paleoambientes resulta de suma importancia para comprender los procesos sedimentarios, la evolución geológica y la respuesta de la vegetación a los cambios climáticos.

La Cuenca sedimentaria de Arauco, ubicada en Chile Central, es parte de una serie de cuencas desarrolladas en el margen continental del país (Aguirre, 1985; Le Roux & Elgueta, 1997), un área geológica de gran relevancia. Comprende una sucesión sedimentaria extensa y compleja que contiene un registro valioso de la evolución de los ecosistemas de los últimos 70 millones de años (Ma). Sin embargo, hasta la fecha, la determinación de los paleoambientes desarrollados en la cuenca se encuentra publicada de manera dispersa como resultado de estudios palinológicos acotados y mayormente focalizados en el Miembro Lota de la Formación Curanilahue (Palma-Heldt, 1980a,b; Collao *et al.*, 1987), una de las unidades estratigráficas más importantes que conforman la cuenca.

En el presente trabajo se analizan las asociaciones esporopolínicas de los depósitos de distintas localidades de la cuenca de Arauco, contribuyendo a actualizar y optimizar el registro de palinomorfos presentes, aportar información referida a la palinología sistemática y, a partir de la búsqueda de las afinidades botánicas actuales, ubicar geográficamente secuencias con palinomorfos indicadores de ambiente para, de este modo, reconstruir la historia de la vegetación durante el desarrollo de la cuenca.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Determinar, cuantificar y ubicar geográficamente los tipos de palinomorfos que componen las asociaciones esporopolínicas de las secuencias de la Cuenca de Arauco para deducir el paleoambiente y el paleoclima.

1.1.2. Objetivos específicos

- Establecer en qué zonas se encuentra la mayor frecuencia de los principales palinomorfos indicadores de ambiente y de las condiciones del sustrato, como *Haloragacidites harrisii*, *Spinizonocolpites echinatus* y los morfogéneros géneros *Botryococcus*, *Exesisporites* y *Nothofagidites*.
- Establecer en qué zonas se encuentran las asociaciones esporopolínicas indicadoras de clima y ambiente 1) *Haloragacidites harrisii*, *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus*, 2) *Gleicheniidites senonicus* y *Cyathidites minor*, y 3) *Araucariacites australis*, *Podocarpidites* sp. y *Nothofagidites* sp.
- Elaborar un mapa de distribución de los distintos tipos de paleoambientes en la Cuenca Sedimentaria de Arauco, utilizando la palinología.

1.2. UBICACIÓN

Se ha determinado como área de estudio las secuencias de la Cuenca Carbonífera de Arauco que afloran en las regiones del Maule y del Biobío, Chile central, ubicadas entre los 35°59'S – 37°45'S y 72°50' W – 73°41'W. Sus coordenadas UTM, datum WGS 84, Huso 18H, corresponden a 6015729.50 m N – 5821106.40 m N y 695332.10 m E – 615993.70 m E.

En la Región del Maule, el material palinológico proviene de la localidad de Trehualemu y en la Región del Biobío, de localidades emplazadas al interior y en los alrededores del Gran Concepción, tales como camino de Dichato hacia Coliumo, Cocholgüe, Penco, Lomas de Bellavista, Mina Schwager, Distrito Laraquete de Mina Lota, Mina Trongol y Río Pilpilco (Figura 1).

Región del Maule:

Localidades Provincia de Cauquenes

1.- Trehualemu corresponde a una zona ubicada en el extremo sur de la comuna de Pelluhue, junto a la desembocadura del estero Trehualemu, cercano al límite con la comuna de Cobquecura, de la Región del Ñuble. Se caracteriza por estar rodeada de cerros con vegetación nativa y forestal.

Región del Biobío:

Localidades Provincia de Concepción

2.- Lomas de Bellavista es un sector preferentemente residencial de la ciudad de Concepción, capital de la provincia homónima y de la Región del Biobío.

3.- El camino que une el pueblo costero de Dichato y la península de Coliumo, ubicados a 39 y 37 km al norte de Concepción, se emplaza en la comuna de Tomé. El recorrido consta de 6.6 km de longitud y comienza en la Avenida Daniel Vera/O-14-N, posteriormente tomando dirección a la ruta O-252.

4.- La caleta de pescadores de Cocholgue forma parte de la comuna de Tomé y está ubicada en a 32 km al norte de Concepción.

5.- La ciudad de Penco, perteneciente a la comuna homónima, se emplaza a 13.1 km al norte de Concepción y limita geográficamente al norte con Tomé.

6.- Schwager es un barrio y localidad de la comuna de Coronel, ubicado en el sector costero de la Región del Biobío denominado como la Cuenca del carbón, a 30.5 km al sur de Concepción. Las muestras fueron obtenidas de Mina Schwager, yacimiento de carbón de piedra adquirida por la Empresa Nacional del Carbón (ENACAR) hasta su clausura en 1994.

7.- El Distrito Laraquete de Mina Lota se encuentra bajo el fondo de la Bahía de Arauco, a 480 m bajo el nivel del mar, encontrando su entrada más próxima en la ciudad costera de Lota, célebre por sus yacimientos carboníferos, estrechamente ligados a la historia y desarrollo económico de Chile.

Localidades Provincia de Arauco.

8.- La Mina Trongol, actualmente cerrada, correspondía a uno de los principales yacimientos carboníferos de la cuenca del carbón. Forma parte de la comuna de Curanilahue.

9.- El río Pilpilco es un curso natural de agua que nace en las laderas occidentales de la cordillera de Nahuelbuta y fluye hacia el oeste hasta desembocar en el río Curanilahue. Pertenece a la Cuenca del Río Lebu. En sus cercanías se emplaza la ciudad de Pilpilco, que surgió como un asentamiento minero en la comuna de Los Álamos.

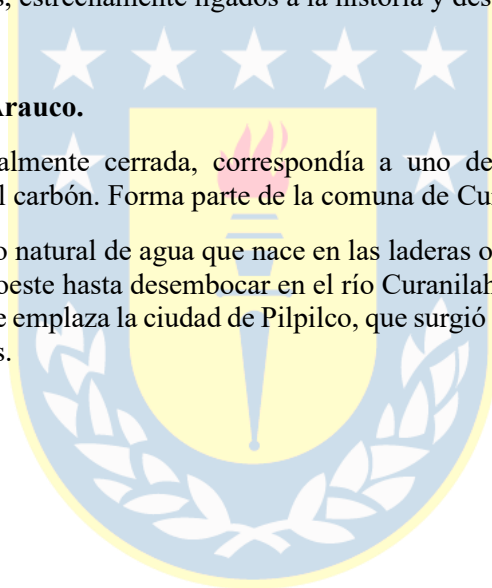




Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio y localidades de colecta en la Cuenca de Arauco. Las localidades comprenden, de norte a sur: Trehalemu 1, Trehalemu 2, Camino de Dichato hacia Coliumo, Cocholgué, Penco, Lomas de Bellavista, Mina Schwager, Distrito Laraquete de Mina Lota, Mina Trongol 1 y 2, y Río Pilpilco.

1.3. MÉTODO DE TRABAJO

El presente estudio se realizó en tres etapas, detalladas a continuación:

1.3.1. Etapa preliminar

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva e integración de información bibliográfica sobre las unidades litoestratigráficas que conforman el área de estudio. Se recopiló información sobre las características geológicas, como la litología, edad y ambiente de sedimentación, así como información paleontológica, con un enfoque especial en la paleopalinoflora. Además, se recopilaron los estudios palinológicos previos realizados en el área de estudio. Con base en esta información, se determinó la formación geológica y la unidad estratigráfica a la que pertenece cada localidad considerada en este trabajo.

1.3.2. Etapa de laboratorio

Las muestras palinológicas fueron preparadas en el Laboratorio de Paleobotánica del Departamento Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, a través de la técnica de Lee (1964) para carbones y rocas silicatadas, y método de acetólisis.

Técnica de Lee (1964)

Con el fin de disgregar la muestra y remover todo el material extraño para conseguir el estado más limpio y nítido de los palinomorfos, ésta se procesa químicamente siguiendo un tratamiento que puede variar en ciertos pasos según se trate de carbones o silicatos, como se detalla a continuación:

A) Carbones:

- Hipoclorito de sodio al 5%
- Ácido nítrico al 65% para eliminar carbones
- Ácido acético glacial técnico
- Acetólisis para eliminar ácidos húmicos, lignina, celulosa y otros polisacáridos con el fin de volver las estructuras del esporoderma lo más nítidas posibles.
- Ácido acético glacial técnico
- Fijación con gelatina-glicerina.

B) Silicatos:

- Ácido clorhídrico al 10% para eliminar carbonatos
- Ácido nítrico al 65% para eliminar carbones
- Ácido fluorhídrico p.a. (para análisis) para eliminar silicatos
- Ácido clorhídrico al 10%
- Acetólisis para eliminar ácidos húmicos, lignina, celulosa y otros polisacáridos con el fin de volver las estructuras del esporoderma lo más nítidas posibles.
- Hidróxido de potasio al 10% para eliminar ácidos húmicos, lignina, celulosa y otros polisacáridos.
- Fijación con gelatina-glicerina.

Método de acetólisis

Su objetivo es eliminar los componentes orgánicos no polínicos de las muestras, como la materia orgánica vegetal y restos celulares, para facilitar la identificación y el estudio de las polen esporas. Con el propósito de solubilizar la celulosa, se trata la muestra con una solución de anhídrido acético puro y ácido sulfúrico concentrado, en proporción de 9:1.

En ambos métodos es necesario centrifugar y lavar la muestra con agua destilada después de cada paso y, antes de la fijación, es recomendable pasar la muestra por ultrasonido (Palma-Heldt, 1995).

Las preparaciones se encuentran depositadas en la Paleopalintoteca del Departamento Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción.

1.3.3. Etapa de análisis

Análisis palinológico

Se observaron un promedio de 5 láminas por muestra bajo un microscopio biológico Olympus CH-30, propiedad del Departamento Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción. El recuento de polen y esporas se realizó hasta alcanzar los 150 registros por muestra o el conteo máximo, dependiendo del potencial polínico de la muestra. Los datos de abundancia relativa de los distintos tipos de palinomorfos presentes en cada localidad se registraron en una planilla Excel. Posteriormente, se tomaron fotografías con una cámara multilente de 48 megapíxeles.

Para la identificación de polen esporas, se contó con el apoyo de la Paleobotánica Sylvia Palma-Heldt, bibliografía especializada y el Catálogo Ilustrado de Esporas Fósiles y Polen de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011). Los ejemplares que no fueron determinados debido a su mal estado de preservación y otras dificultades se incluyeron en el ítem de “indeterminados”.

Manejo de datos

Se generó una lista de especies para cada localidad analizada para representar la asociación de polen esporas, destacando la presencia de los morfotipos indicadores de ambientes y condiciones 1) *Haloragacidites harrisii*, 2) *Spinizonocolpites echinatus*, 3) *Botryococcus* sp., 4) *Exesisporites* sp., y 5) *Nothofagidites* sp.

Se obtuvieron las abundancias relativas de cada morfogénero o morfoespecie, consideradas como la frecuencia del hallazgo y se calcularon los porcentajes totales de los principales grupos vegetales (Algae, Fungi, Pteridophyta, Gymnospermae y Angiospermae) presentes en cada localidad de muestreo.

Paleoambiente y paleoclima: Confección de mapas

La interpretación de los resultados se realizó sobre la base de porcentajes de palinomorfos encontrados, sin tomar en consideración que diferentes especies producen distintas cantidades de polen o esporas.

Las inferencias paleoambientales y paleoclimáticas se elaboraron sobre la base de la afinidad botánica actual de los palinomorfos observados en la asociación, mediante el método relativo “el pariente vivo más cercano” (Axelrod & Bailey, 1969), el cual permite inferir las relaciones filogenéticas y la ecología de las plantas fósiles basándose en los caracteres morfológicos afines a la vegetación actual,

correspondiendo en este caso a la morfología de las esporas y granos de polen. Este método relaciona la distribución de géneros actuales que poseen afinidad con formas fósiles.

Finalmente, la información fue procesada en el sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS y, a través de la confección de polígonos concordantes con las localidades muestreadas, se elaboró un mapa de distribución de los paleoambientes y condiciones de interés durante el desarrollo de la Cuenca de Arauco. Este mapa se confeccionó en función de la presencia o ausencia de los indicadores paleopalinológicos correspondientes.

1.4. TRABAJOS ANTERIORES

Los estudios paleobotánicos más antiguos en las rocas de la Cuenca de Arauco se remontan a la década de 1960. A continuación, se detallan las contribuciones más relevantes que han permitido sentar las bases del conocimiento paleobotánico, con énfasis de palinología, de las secuencias de la cuenca en las regiones del Maule y del Biobío:

- **Frutos (1967)** tesis inédita que estudia la palinología de los niveles carboníferos del Paleógeno de Arauco.
- **Martínez & Frutos (1968)** incluyen la información presentada en Frutos (1967) en un estudio preliminar que no determina los palinomorfos encontrados ni menciona las probables afinidades botánicas.
- **Doubinger (1972)** trata la evolución de la flora desde el Cretácico Superior al Mioceno en la zona de Arauco-Concepción, basándose en las asociaciones esporopolínicas.
- **Doubinger & Chotin (1975)** describen 40 palinomorfos de manera incompleta e indican la probable afinidad botánica para cada forma.
- **Collao & Palma-Heldt (1978)** determinan, describen y buscan la probable afinidad botánica de los palinomorfos encontrados. Presentan datos estadísticos para caracterizar cada manto y, basándose en las afinidades botánicas de las formas, se deducen los probables cambios de la vegetación, ecológicos y climáticos.
- **Palma-Heldt (1980a)** caracteriza palinológicamente cinco mantos carboníferos explotables del Miembro Lota, Formación Curanilahue, del Paleógeno de Arauco-Concepción.
- **Palma-Heldt (1980b)** da a conocer nuevos antecedentes en el estudio palinológico de los mantos carboníferos del Paleógeno de Arauco-Concepción. Según la autora, la paleoflora indica un ambiente pantanoso, costero, tranquilo, en el cual prevaleció un clima subtropical húmedo.
- **Garrido (1993)** estudia palinológicamente secuencias sedimentarias que contienen carbón en la zona de Cobquecura-Trehualemu. Discute la edad de los niveles y, por la asociación paleoflorística, estima una edad anterior al Oligoceno-Mioceno.
- **Palma-Heldt et al. (1998)** realizan el análisis polínico de la Formación Quiriquina en su localidad tipo, Bahía las tablas y, sobre la base de los palinomorfos encontrados, postulan que la formación presenta un contenido polínico mixto entre la paleoflora del Cretácico Superior y la del Paleógeno, indicando la presencia de un estrato arbóreo que albergaba pteridófitas y hongos epífitos en un ambiente de humedad elevada y temperaturas cálidas, es decir, clima subtropical. Registraron quistes de dinoflagelados y cistos de diatomeas en ciertas capas de la formación, que indicarían periodos de mayor profundidad.

- **Takahashi (1977a)** examina muestras de carbón obtenidas de la Formación Concepción, del Eoceno, encontrando treinta y cuatro especies de microesporas y granos de polen fósiles que se describen en su publicación.
- **Takahashi (1977b)** aborda la palinología de material de la Formación Quiriquina de Isla Quiriquina y de la Península de Tumbes. Reporta cuarenta y dos especies de microesporas y granos de polen para esta formación.
- **Leppe et al. (1998)** estudian restos de ramas de Araucariaceae, Podocarpaceae y pequeños restos de hojas de angiospermas dicotiledóneas en la Formación Quiriquina y concluyen que las paleoasociaciones vegetacionales indican un ambiente subtropical húmedo, y un ambiente de sedimentación litoral con fuertes elementos estuarinos.
- **Garrido (1993)** lleva a cabo el análisis palinológico de los niveles de carbón de la zona Trehualemu-Cobquecura, designándoles una edad relativa entre el Paleoceno al Oligoceno y un clima subtropical húmedo en base a las polenesporas encontradas.
- **Gayo (2001)** revisa fósiles de improntas de hojas e indica que el carácter de la paleoflora de los yacimientos terciarios de la Isla Quiriquina y Caleta Cocholgüe son elementos típicos de la Región Fitogeográfica Neotropical, con prevalencia de un clima cálido y húmedo, tropical a tropical lluvioso.
- **Palma-Heldt & Quinzio (2006)** dan a conocer los aportes de la palinología al conocimiento del límite Cretácico-Paleógeno en la cuenca de Arauco. Enlistan palinoespecies observadas en distintos afloramientos de la Formación Quiriquina y los palinomorfos característicos de la asociación vegetacional de las secuencias paleógenas. Concluyen para el Maastrichtiano la presencia de un estrato arbóreo, dominado por araucarias y podocarpáceas, con helechos y hongos epífitos, en un ambiente húmedo y de clima subtropical y, para el Paleógeno Inferior de la Cuenca de Arauco, un ambiente de pantano costero, en parte con vegetación tipo manglar y clima subtropical. No comprueban una discordancia o quiebre abrupto de las asociaciones vegetacionales en el límite Cretácico-Paleógeno y postulan un cambio de facies, de un ambiente de sedimentación marino y margino-litoral a un ambiente continental costero.
- **Collao et al. (1987)** estudian cinco mantos de carbón del Miembro Lota de la Formación Curanilahue desde el punto de vista estratigráfico, palinológico y geoquímico. Según los autores, los carbones se formaron durante un episodio estratigráfico regresivo; el conjunto palinológico indica condiciones de alta humedad y temperatura, y los carbones se caracterizan por presentar un alto contenido de azufre, cenizas y Ge.
- **Palma-Heldt et al. (2009)** reportan el primer registro del palinomorfo *Nothofagidites* en el Paleógeno de la Cuenca de Arauco, en muestras extraídas de la Ruta del Itata, cerca del baipás de Penco. En base a los palinomorfos encontrados desde Cobquecura-Trehualemu, deducen que durante el Paleógeno inferior de la Cuenca de Arauco de desarrolló un pantano costero, en parte con vegetación tipo manglar, clima subtropical, de temperaturas cálidas y abundantes precipitaciones.
- **Yamada et al. (2019)** describen un nuevo fósil de cícada, *Sueria laxinervis*, en los estratos de la Formación Quiriquina que afloran en Cocholgüe.
- **Beltrán-Echeverría (2022)** caracteriza, desde el punto de vista palinológico, estratos de la Formación Quiriquina en su localidad paratipo, Caleta Cocholgüe, y capas carbonosas paleógenas del Miembro Lota de la Formación Curanilahue, colectadas en Talcahuano. Registra por primera vez los morfotipos *Cyathidites concavus*, *Cingutritetes* sp. y *Verrucosisporites* sp. para el Cretácico Superior de Cocholgüe. Reafirma la presencia de un ambiente marino-costero húmedo y temperaturas cálidas, de tipo subtropical para la Formación Quiriquina y el desarrollo de un ambiente de pantano costero, también de clima subtropical para el Paleógeno, descartando cambios en el clima, ambiente y

vegetación durante el límite Cretácico-Paleógeno de la Región del Biobío, coincidiendo con los resultados de Palma-Heldt & Quinzio (2006).

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Cuenca de Arauco

La Cuenca Sedimentaria de Arauco (Figura 2) se ubica entre los 35°59' - 37°45'S y 72°50' - 73°42'W (Álvarez *et al.*, 2006); debido al inicio de la minería de carbón desde mediados del siglo XIX, su geología es ampliamente conocida y son numerosas las unidades estratigráficas que se han definido, tanto para el área de Arauco como para la zona de Concepción, lo cual implica una gran dificultad para alcanzar el conocimiento completo de su geología (Palma-Heldt *et al.*, 2009). Se caracteriza por una alternancia de secuencias marinas y continentales, que abarcan desde el Cretácico Superior al Cuaternario, y presentan cambios verticales y variaciones laterales de facies (González & Garcés, 2006). El relleno de la cuenca responde a la acción de continuas transgresiones y regresiones que resultaron en variaciones en el ambiente de sedimentación, pasando de continental a marino costero y marino profundo, y viceversa (Miranda, 2018).

En la Cuenca de Arauco, sobre la Formación Quiriquina (Cretácico Superior, Maastrichtiano) se ha descrito la Formación Pilpilco, el Grupo Lebu, compuesto por las formaciones Curanilahue, Boca Lebu y Millongue (Wenzel, 1972); sobreyacen las formaciones Ranquil y Tubul (Collao *et al.*, 1987; Palma-Heldt *et al.*, 2009) (Tabla 1).

Tabla 1. Unidades Litoestratigráficas de la Cuenca Carbonífera de Arauco. Modificado de Bonilla *et al.*, (2021).

NOMBRE ACTUAL		AMBIENTE	EDAD
Formación Tubul		Marino	Plioceno
Formación Ranquil		Marino	Mioceno
G R U P O L E B U	Formación Millongue	Marino	Eoceno medio-superior
	Formación Trihueco	Continental con mantos de carbón y algunos niveles marinos	Eoceno medio
	Formación Boca Lebu	Marino transgresivo	Eoceno inferior
	Formación Curanilahue - Miembro Colico	Principalmente continental: - continental, lutitas carbonosas	Paleoceno-Eoceno inferior
- Miembro Intercalación	- marino somero		
- Miembro Lota	- continental con mantos de carbón		
Formación Pilpilco		Marino	Paleoceno
Formación Quiriquina		Marino transgresivo	Maastrichtiano

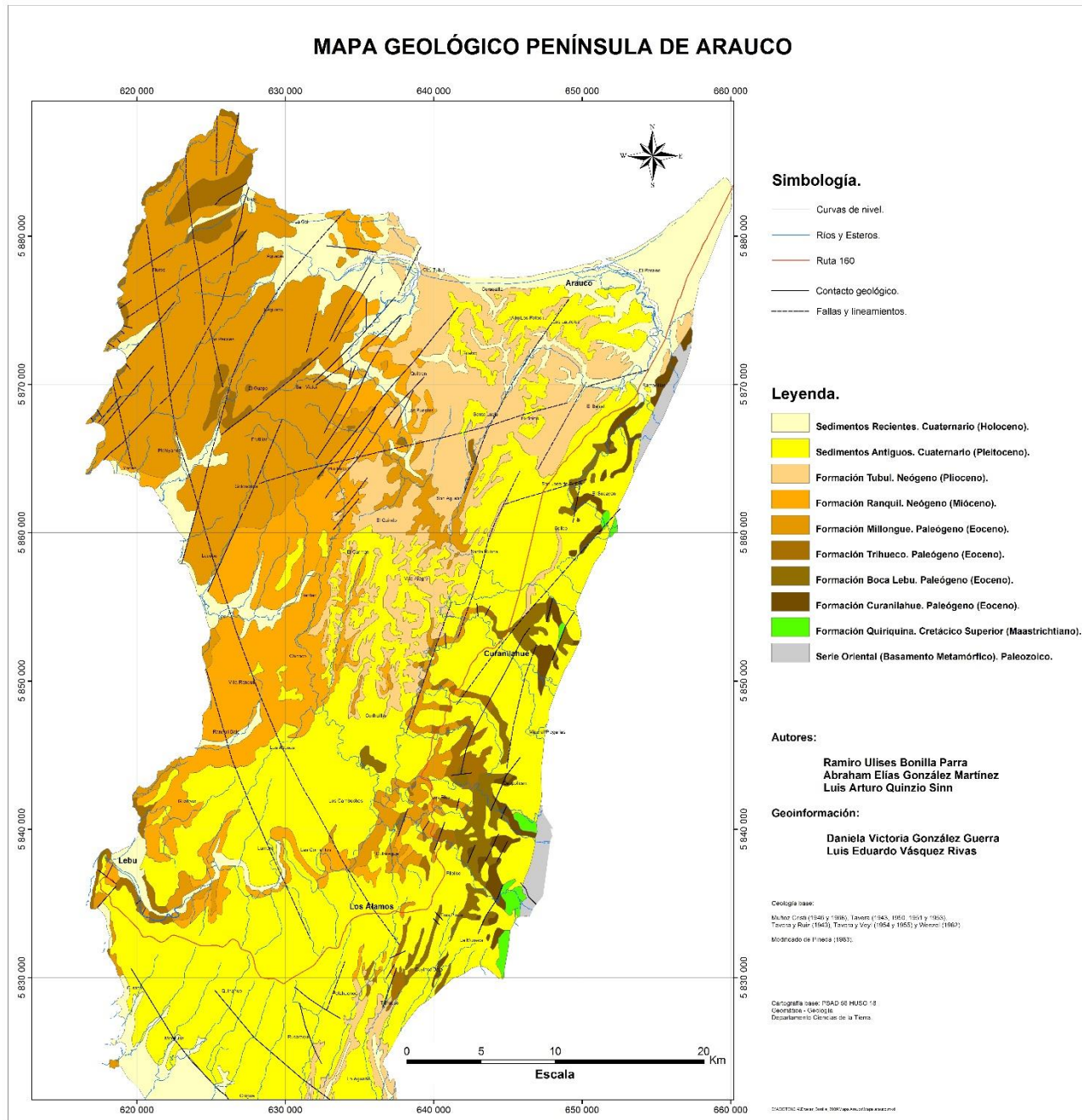


Figura 2. Mapa geológico de la Península de Arauco, realizado por Pineda (1983) y modificado por Bonilla *et al.* (2009).

2.1.2 Formación Quiriquina

La Formación Quiriquina representa depósitos transgresivos maastrichtianos (Cretácico Superior) (Biró-Bagóczy, 1982), que afloran desde Algarrobo, Provincia de San Antonio, hasta Lebu, Provincia de Arauco (S. Palma-Heldt, com. pers. 10 de junio de 2022). La localidad tipo de la formación se encuentra en Bahía Las Tablas, Isla Quiriquina, y la parlocalidad tipo, en Cocholgüe, al Norte de Tomé (Biró-Bagóczy, 1982).

Los estratos de esta formación se depositaron en un ambiente costero que se profundizó gradualmente (Palma-Heldt & Quinzio, 2006) y son reconocidos por su basto registro faunístico, entre estos amonoideos, bivalvos, gastrópodos, escafópodos, nautiloideos, dientes de elasmobranquios y restos óseos de reptiles marinos, estudiados por grandes eminencias del quehacer científico, entre ellos Darwin (1846), Gay (1848; 1854), Philippi (1887), Casamiquela (1969), etc. Entre los reptiles, el último espécimen descrito corresponde a *Aristonectes quiriquinensis* (Otero *et al.*, 2014). Sin embargo, los registros vegetales han sido menos estudiados (Palma-Heldt *et al.*, 1998).

El origen de la Formación Quiriquina es marino (Gajardo, 1981) o marino costero, más bien intermareal (Biró-Bagóczy, 1982), resultado de la rápida transgresión del mar en el Cretácico tardío en los flancos occidentales de la actual cordillera de la Costa (Wetzel, 1930; Galli, 1967; Erices, 2018).

En el estratotipo de la Formación Quiriquina, la sección stratigráfica se ha dividido en cuatro litofacies, las cuales, de base a techo, son: 1) Conglomerado basal, 2) Areniscas Amarillas, 3) Niveles de Coquina y 4) Areniscas Limosas con Concreciones Calcareónicas (Stinnesbeck, 1986; Salazar, 2004, Salazar *et al.*, 2010; 2015). El conglomerado basal transgresivo sugiere facies de *shoreface* de alta energía; las areniscas amarillas revelan un ambiente de *shoreface* medio a superior en un corto periodo de quietud relativa, señalado por el delgado nivel rico en biotita; las capas de coquina representan tempestitas de nivel base de olas de tormenta, en condiciones de alta energía, a menos de 20 m de profundidad (Salazar *et al.*, 2015). Finalmente, las últimas areniscas finas a muy finas se depositaron en el *shoreface* medio, indicado por la bioturbación pervasiva de las capas, signo de una influencia muy limitada de las olas de tormenta y las de buen tiempo (Buatois & Encinas, 2011).

2.1.3. Formación Pilpilco

Las facies de la Formación Pilpilco están compuestas por areniscas de grano fino a medio, verdosas oscuro, con algunas capas intercaladas de arcillas y, en ciertos casos, conglomerados finos. La base de la formación descansa discordantemente sobre la Formación Quiriquina o sobre el Basamento Cristalino (Collao & Palma-Heldt, 1978).

Esta formación se depositó en ambientes marinos costeros con aportes fluviales (Muñoz-Cristi, 1968), lo que le otorga naturaleza marino litoral (Pineda, 1983).

La transición entre las facies de la Formación Pilpilco y las facies del Miembro Lota de la Formación Curanilahue es, normalmente, gradual y se revela tanto por el paso del color verde al gris ceniciento, como por el aumento de las intercalaciones de arcilla entre las areniscas verdes o, en ciertos casos, es señalada por un conglomerado o por la disminución continua del material andesítico para llegar a estar subordinado (Muñoz-Cristi, 1968).

2.1.4. Grupo Lebu

2.1.4.1. Formación Curanilahue

Definida por Muñoz-Cristi (1956) para referirse a una secuencia de areniscas y lutitas fosilíferas, de origen marino y continental, asociadas a conglomerados y capas de carbón. Su localidad tipo se ubica en Curanilahue, al interior de la península de Arauco y sus afloramientos se distribuyen tanto en el río Carampangue, como en Colico, Trongol, Pilpilco y Antihuala (Rodríguez, 2022). La Formación Curanilahue se subdivide en los miembros Lota, Intercalación y Colico (Muñoz-Cristi, 1954 en Chotin, 1969).

En la Formación Curanilahue, el ambiente preponderante era de tipo parálico, es decir, constituido por un sistema lagunar y pantanoso, ubicado entre una superficie peniplanizada y una barra arenosa que detenía el avance del mar (Stach *et al.*, 1975 In Grez-Armanet, 1979). Posteriormente, un modelo de sedimentación de delta fluvial fue propuesto por Elgueta & Arcos (1994) para la depositación de la Formación Curanilahue (*sensu* Muñoz-Cristi, 1956), como franjas aparentemente paralelas a la línea de la paleocosta, con profundización de los ambientes marinos de oriente a occidente.

El Miembro Lota es el más estudiado, debido a que contiene los principales mantos de carbón explotados en la región, explotados en las minas de Lota-Schwager (Collao & Palma-Heldt, 1978). Corresponde a una secuencia continental compuesta por areniscas de grano fino a grueso, en parte conglomerádicas, y conglomerados finos (Palma-Heldt, 1980b). Su depositación es resultado de una etapa regresiva ulterior a la sedimentación de la Formación Pilpilco.

El Miembro Intercalación consiste exclusivamente en areniscas de origen marino costero, mientras que el Miembro Colico corresponde a una serie continental de constitución análoga a la del Miembro Lota. Este último miembro consta de un tramo inferior de areniscas, conglomerados e intercalaciones de mantos de carbón, explorados en el sector oriental de la península de Arauco, y de un tramo superior de areniscas.

2.1.4.2. Formación Boca Lebu

Definida por Muñoz-Cristi (1956) en el sector de Boca Lebu, donde aflora su sección superior con limolitas y areniscas muy finas, arcillosas y fosilíferas (Rodríguez, 2022). Su localidad tipo se ubica al sur de la desembocadura del río Lebu (Pineda, 1983) y sus afloramientos se distribuyen en toda la zona de Arauco, en el sector oriental en franjas paralelas en el río Carampangue, río Curanilahue, estero Paso Hondo, río Trongol y río Pilpilco (Rodríguez, 2022). La secuencia, de edad Eoceno inferior, engrana lateralmente con la Formación Curanilahue y está cubierta concordantemente por la Formación Trihueco (Collao & Palma-Heldt, 1978).

2.1.4.3. Formación Trihueco

En los alrededores de la antigua mina Trihueco se ubica la localidad tipo de la Formación homónima, definida por Muñoz-Cristi (1956), donde afloran areniscas de grano grueso a finamente conglomerádicas con intercalaciones de lutitas carbonosas y mantos de carbón explotables (Collao & Palma-Heldt, 1978). Consiste en una secuencia continental con intercalaciones marinas (Rodríguez, 2022). Le Roux y Elgueta (1997) indican que esta unidad es de carácter regresivo y con transgresiones locales de segundo orden. Su edad es del Eoceno medio, obtenida a partir del contenido fosilífero en sus intercalaciones marinas.

La secuencia sobreyace concordantemente a la Formación Boca Lebu y está cubierta a su vez, también concordantemente, por la Formación Millongue (Collao & Palma-Heldt, 1978).

2.1.4.4. Formación Millongue

Definida por Muñoz Cristi (1956), su localidad tipo se encuentra en Punta Millongue, ubicada en la costa, al norte de Lebu. Corresponde a una secuencia transgresiva que inicia con un conglomerado basal sobre el que se depositaron areniscas de grano grueso, medio y fino, arcillas arenosas y arcillas con bancos tobáceos (Tavera, 1942). En los sedimentos se encuentran restos vegetales carbonosos y niveles con trozos de árboles carbonizados. Esta formación, de edad Eoceno medio y superior, representa la transición de un medio prevalentemente continental (Formación Trihueco) hacia uno marino (Muñoz Cristi, 1968).

2.1.4.5. Formación Ranquil

Definida por Tavera (1942) y redefinida por García (1968), tiene como localidad tipo la Caleta Ranquil al norte de Lebu (Collao & Palma-Heldt, 1978). Consiste en conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas, que reflejan diferentes ambientes (Nielsen *et al.*, 2004; Nielsen & Frassinetti, 2007; Finger *et al.*, 2007). Tavera (1942) propuso una edad Mioceno para esta formación, basándose en el registro de equinodermos fósiles y, posteriormente, Groves & Nielsen (2003) la asignan con precisión al piso Tortoniano (Mioceno superior), respaldados por datos de foraminíferos.

2.1.4.6. Formación Tubul

Descrita por Fergulio (1949) como sedimentos de lutitas arenosas de color gris claro con restos fósiles. Su localidad tipo está localizada en el sector sur del Golfo de Arauco (37°14'S; 73°26'W) y su edad corresponde al Plioceno tardío (Martínez, 1976), cercana al límite Plio-Pleistoceno (Pineda, 1983; 1986).

Pineda (1983, 1986) propone que la Formación Tubul se depositó rápidamente en una zona tranquila cercana a la costa, tal vez de *lagoon*. Según la autora, esta formación representa una secuencia transgresiva. La presencia de cuarzo y conglomerado en la base se ha interpretado como una antigua línea de costa y, por encima de este nivel se han depositado areniscas arcillosas muy finas que representarían un ambiente marino somero (Nielsen & Valdovinos, 2008).

3. ESTUDIO DE PALINOMORFOS

3.1. Generalidades

3.1.1. Formación Quiriquina

La Formación Quiriquina presenta un contenido polínico mixto entre la paleoflora del Cretácico Superior y la del Paleógeno (Palma-Heldt *et al.*, 1998).

Takahashi (1977b), en muestras extraídas de arcillas grises de la Formación Quiriquina en Isla Quiriquina y de arcillas verdes de la Península de Tumbes, reporta 8 esporas triletes, entre estas *Deltoidospora* sp., *Cyathidites australis* y *Leiotriletes* sp.; 3 esporas monoletes, correspondientes a *Laevigatosporites dehiscens*, *Polipodiites inangahuensis* y *Punctatosporites* sp.; y otros 30 morfotipos diferentes, entre los que destacan *Podocarpidites exiguus*, *Trisaccites microsaccatum* y *Myrtacidites parvus*. La asociación de palinomorfos observa por el autor reveló un ambiente gobernado por angiospermas proteáceas, mirtáceas y liliáceas, con presencia de gimnospermas podocarpáceas y helechos.

En su localidad tipo, Bahía Las Tablas, la palinoflora de la Formación Quiriquina se compone por las esporas de hongos *Multicellaesporites* sp. y *Exesisporites* sp.; polen esporas de pteridófitas, entre estas *Clavifera triplex*, *Cyathidites minor* y *Laevigatosporites vulgaris*. Granos de polen de gimnospermas como *Podocarpidites marwickii* y *Araucariacites australis*. Polen de angiospermas, tanto dicotiledóneas como monocotiledóneas, entre estos *Tricolpites comunis*, *Proteacidites crassus* y *Liliacidites variegatus* (Palma-Heldt *et al.*, 1998). Esta asociación de palinomorfos, observada en distintos afloramientos de la formación, revela un ambiente húmedo y clima de tipo subtropical. Algunos estratos de la Formación Quiriquina carecen de polen esporas y, en su lugar, presentan quistes de dinoflagelados, lo que indica una profundización del ambiente marino (Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

En su localidad paratipo, Cocholgüe, se exhibe una palinoflora similar, compuesta por 26 morfotipos diferentes. El grupo predominante en estos estratos corresponde a Pteridophyta, con una presencia del 43%, seguido por Angiospermae con un 30%, Fungi con un 22% y las gimnospermas están escasamente representadas, en un 2%. Además, se contabilizaron cinco Acritarcos acantomorfos, correspondientes al 1% de los grupos analizados (Beltrán-Echeverría, 2022). Para la Formación Quiriquina, se incorporan a los listados de polen esporas presentados por Takahashi (1976) y Palma-Heldt *et al.* (1998) los morfotipos de *Cingutrites* sp., *Cyathidites concavus*, *Verrucosiporites* sp., *Bisaccites* sp., *Gamerroites* sp., y *Psilatricolpites* sp.

3.1.2. Formación Curanilahue

Los estudios palinológicos realizados en diferentes secuencias sedimentarias de la Cuenca Carbonífera de Arauco han documentado la presencia de numerosas esporas de hongos, epífitos y saprófitos, indicadores de ambientes húmedos y sombríos. También se encontró una amplia variedad y alta abundancia de esporas helechos. Con menor frecuencia, se registraron granos de polen de gimnospermas y, por último, se contabilizaron angiospermas, tanto dicotiledóneas como monocotiledóneas, principalmente indicadores de ambientes húmedos (Palma-Heldt, 1980a,b; Collao *et al.*, 1987; Palma-Heldt & Quinzio, 2006; Palma-Heldt *et al.*, 2009).

Los palinomorfos más característicos y relevantes de la asociación son las esporas de helechos *Gleicheniidites senonicus* y *Clavifera triplex*, indicadoras de ambientes húmedos, junto a la angiosperma dicotiledónea *Haloragacidites harrisii*, siendo esta la especie más frecuente y significativa, que encuentra su afinidad botánica actual en el género *Canacomyrca* de la familia Myriaceae, originaria de Nueva Caledonia (Collao *et al.*, 1987), y es indicadora de clima tropical a

subtropical lluvioso. Otro señalador paleoambiental importante, que es altamente frecuente en las secuencias de la cuenca que contienen carbón, es la angiosperma monocotiledónea *Spinizonocolpites echinatus*, cuya afinidad actual corresponde a una especie de *Nyssa* de amplia distribución en los manglares neotropicales del Eoceno (Palma-Heldt & Quinzio, 2006). La agrupación de polen esporas reportadas permite inferir que durante el Paleógeno inferior de la Cuenca de Arauco se desarrolló un ambiente de pantano costero y tranquilo, en parte con vegetación tipo manglar y clima subtropical húmedo (Palma-Heldt, 1980b; Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

Un significativo cambio en el clima y el ambiente en la Cuenca de Arauco está reflejado por el primer registro del género *Nothofagidites*, reportado por Palma-Heldt *et al.* (2009), quienes estudiaron una secuencia aislada de areniscas y lutitas que aflora en un corte de la Ruta de Itata, cerca del Baipás de Penco. Ésta, estratigráficamente yace sobre la Formación Quiriquina y correspondería a la parte alta de la Formación Curanilahue, probablemente a su Miembro Colico o, en su defecto, a la Formación Trihuco. La presencia de los palinomorfos *Nothofagidites cranwellae* y *Nothofagidites* tipo *brasii*, cuya afinidad botánica actual corresponde al género *Nothofagus*, indica temperaturas templadas a frías y alta humedad. Estos morfógenos, además, son frecuentes en las asociaciones esporopólicas de las cuencas del Oligo-Mioceno de Chile al sur de los 36°S.

3.1.3. Límite Cretácico-Paleógeno

El conjunto de polen esporas identificado en diferentes localidades de la Formación Quiriquina para el Cretácico Superior revela un ambiente marino-costero húmedo y temperaturas cálidas, de clima tipo subtropical. En este periodo, las angiospermas dominaban sobre las gimnospermas, en presencia de helechos y una gran variedad de hongos (Palma-Heldt *et al.*, 1998; Palma-Heldt & Quinzio, 2006; Beltrán-Echeverría, 2022).

Por otro lado, el ambiente para el Paleógeno corresponde al de un pantano costero, también de clima subtropical. Esto sugiere que no hubo un cambio abrupto entre las asociaciones vegetacionales en el límite Cretácico-Paleógeno. En consecuencia, se descarta la existencia de cambios en el clima y ambiente en la zona costera de la Región del Biobío durante este periodo (Beltrán-Echeverría, 2022). En cambio, ocurrió una transición de facies desde un ambiente marino a uno continental, corroborando la propuesta de Palma Heldt *et al.* (1998).

3.1.4. Zona Trehualemu-Cobquecura

Los niveles de carbón estudiados por Garrido (1993) en las zonas de Trehualemu y Cobquecura, ubicados entre los paralelos 39°59'S – 36°08'S y los meridianos 72°45'W – 72°46'W, presentan formas afines a hongos epífitos, como *Inapertisporites* sp., *Dicellaesporites* sp. y *Multicellaesporites* sp., gran variedad de pteridófitas, entre éstas *Cyathidites australis*, *C. minor*, *Clavifera* sp., y *Gleicheniidites* sp., gimnospermas tales como *Podocarpidites marwickii*, *P. otagoensis* y *Trisaccites microsaccatum*, y finalmente, angiospermas dicotiledóneas y monocotiledóneas como *Haloragacidites harrisii*, *Proteacidites parvus*, *Tricolpites* sp., entre otras. La edad relativa dada por los palinomorfos estaría comprendida entre el Paleoceno al Oligoceno (Mioceno?) y el clima indicado correspondería a subtropical húmedo. El autor afirma que, sobre la base del contenido palinológico, estos cuerpos lenticulares de carbón son correlacionables con los mantos carboníferos del Paleógeno de la Cuenca de Arauco y con los carbones de Dichato, Coliumo y Cocholgüe, y corresponderían al límite norte de la cuenca carbonífera de Arauco.

3.2. LISTA DE PALINOMORFOS IDENTIFICADOS

Algas

Botryococcus Kützing, 1849

Hongos

Dicellaesporites Elsik, 1968

Exesisporites Elsik, 1969

Lacrimasporonites Clarke, 1965

Multicellaesporites Elsik, 1968

Unicellaesporites Elsik

Briófitas

Cingutriletes Pierce, 1961

Stereisporites antiquasporites Dettmann, 1963

Pteridófitas

Auritulasporites scanicus Nilsson, 1958

Clavifera triplex Bolkhovitina, 1966

Cyathidites australis Couper, 1953

Cyathidites concavus (Bolkhovitina, 1953)

Cyathidites minor Couper, 1953

Gleicheniidites senonicus Ross, 1949

Laevigatosporites ovatus Wilson & Webster, 1946

Laevigatosporites vulgaris Ibrahim, 1933

Peromonolites bowenii Couper, 1953

Trilites Erdtman & Couper, 1947

cf. *Verrucosisporites* Potonie & Kremp, 1954

Gimnospermas

Araucariacites australis Cookson, 1947

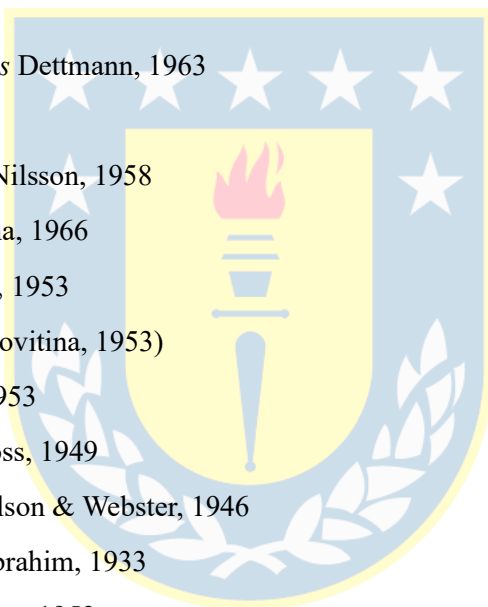
Bisaccites sp.

Lygistepollenites florinii Cookson & Pike, 1953

Podocarpidites marwickii Couper, 1953

Podocarpidites otagoensis Couper, 1953

Trisaccites Menéndez, 1968



Angiospermas

Bombacacidites isoreticulatus McIntyre, 1965

Haloragacidites harrisii Mildenhall & Harris, 1971

Liliacidites kaitangataensis Couper, 1953

Liliacidites variegatus Couper, 1953

Malvacipollis Harris, 1965

Monocolpites van der Hammen, 1954

Myrtaceidites eugenioides Cookson & Pike, 1954

Myrtaceidites parvus Cookson & Pike, 1954

Nothofagidites cincta Cookson, 1969

Nothofagidites cranwellae Mildenhall, 2003

Proteacidites crassus Cookson, 1950

Proteacidites parvus Cookson, 1950

Proteacidites Cookson & Couper, 1953

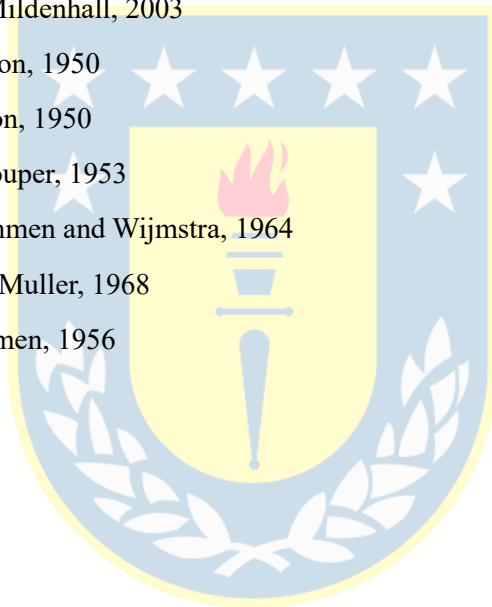
Psilatricolpites Van der Hammen and Wijmstra, 1964

Spinizonocolpites echinatus Muller, 1968

Retitricolpites Van der Hammen, 1956

Tricolpites Couper, 1953

Tricolporites Cookson, 1947



3.3. PALINOLOGÍA SISTEMÁTICA

Género *Botryococcus* Kützing, 1849

Especie tipo. *Botryococcus braunii* Kützing, 1849

Botryococcus sp.

Figura 3.A

Descripción. Colonias formadas por una cohesión de numerosas células con forma y tamaño variables, pero generalmente elípticas; de coloración amarillo-parduzca. Células individualmente de diámetro mayor de 14 μm y diámetro menor de 11 μm , aproximadamente; con una pared de 1 μm de grosor.

Principal material estudiado. 248, 707, 1656, 1660, 1938.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Género presente en muestras del Oligoceno-Mioceno de Australia, India, norte de América y norte de Europa; y en Chile se ha registrado en la Formación Ranquil, Mioceno de Arauco (Palma-Heldt, 1983). El rango estratigráfico conocido para esta especie es Ordovícico-Reciente (Cookson, 1953).

Afinidad botánica. Chlorophyceae.

Género *Dicellaesporites* Elsik, 1968

Especie tipo. *Dicellaesporites popovii* Elsik, 1968.

Dicellaesporites sp.

Figura 3.B

Descripción. Espora fúngica bicelular, inaperturada y de ornamentación lisa. Sus células, generalmente desiguales en tamaño, están separadas por un septo. Perímetro oval con simetría bilateral. Coloración parduzca. Largo total superior a 20 μm .

Principal material estudiado. 122, 146, 147, 149, 150, 151, 1656, 1658, 1660, 1661, 1936, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cochohgüe, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en camino de Dichato hacia Coliumo, Lomas de Bellavista y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Género ampliamente distribuido en el Cretácico de Argentina, en el Eoceno de Argentina y Estados Unidos, y en el Mioceno de Australia (Paleobotany Database, PBDB, n.d.) En Chile, presente en el Paleógeno de la Provincia de Arauco (Palma-Heldt, 1980a) y de Lonquimay, Provincia de Malleco (Palma-Heldt, 1983).

Afinidad botánica. Fungi.

Género *Exesisporites* Elsik, 1969

Especie tipo. *Exesisporites neogenicus* Elsik, 1969.

***Exesisporites* sp.**

Figura 3.C

Descripción. Espora fúngica unicelular, monoporada, de contorno circular a subcircular. Exina doble claramente diferenciada, psilada. Coloración parduzca. Diámetro mayor aproximado de 15 μm .

Principal material estudiado. 122, 149, 150, 152, 165, 248, 706, 707, 708, 1658, 1661, 1936.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgue y Mina Schwager; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, camino de Dichato hacia Coliumo y en Mina Trongol; Formación Trihuco, muestreado en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Presente en Chile: Maastrichtiano de la Formación Quiriquina, en su localidad tipo Bahía Las Tablas (Palma-Heldt *et al.*, 1998), y en el Paleógeno de Arauco (Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

Afinidad botánica. Fungi.

Género *Lacrimasporonites* Clarke, 1965

Especie tipo. *Lacrimasporonites levis* Clarke, 1965.

***Lacrimasporonites* sp.**

Figura 3.D

Descripción. Espora fúngica unicelular, monoceldada, monoporada, psilada. Contorno elíptico a espatulado. Tamaño variable, generalmente sobre 20 μm . Coloración uniforme amarillenta a parduzca.

Principal material estudiado. 122, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 165, 248, 705, 707, 708, 1656, 1658, 1660, 1661, 1934, 1936, 1938.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgue, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, Lomas de Bellavista y Mina Trongol; Formación Trihuco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Cretácico de Antártica, Eoceno de Argentina y Estados Unidos (PBDB, n.d). Mioceno de Australia (Raine *et al.*, 2011). En Chile, presente en el Paleógeno de Arauco (Palma-Heldt, 1980b) y de Lonquimay, Provincia de Malleco (Palma-Heldt, 1983).

Afinidad botánica. Fungi.

Género *Multicellaesporites* Elsik, 1968

Especie tipo. *Multicellaesporites nortoni* Elsik, 1968.

***Multicellaesporites* sp.**

Figura 3.E

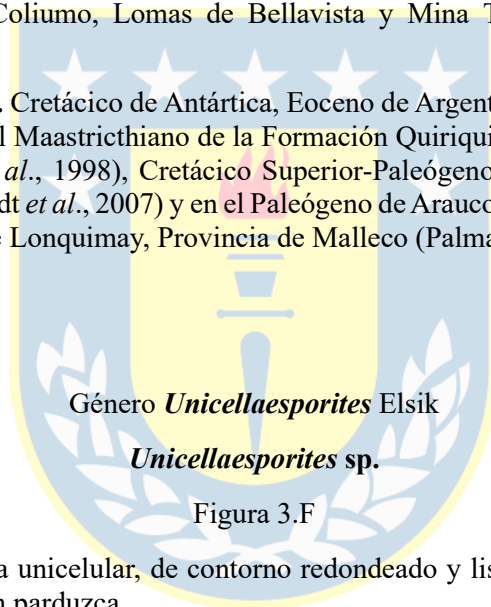
Descripción. Espora fúngica de 3 o más células dispuestas en banda, separadas por septos claramente diferenciados. Banda de perímetro alargado con simetría bilateral, inaperturada y de ornamentación lisa. Tamaño entre 40 y 100 µm de largo. Coloración parduzca.

Principal material estudiado. 122, 146, 147, 149, 150, 151, 165, 248, 706, 708, 1656, 1660, 1661, 1936, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, camino de Dichato hacia Coliumo, Lomas de Bellavista y Mina Trongol; Formación Trihueco muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Cretácico de Antártica, Eoceno de Argentina y Estados Unidos (PBDB, n.d). En Chile, presente en el Maastrichtiano de la Formación Quiriquina, en su localidad tipo Bahía Las Tablas (Palma-Heldt *et al.*, 1998), Cretácico Superior-Paleógeno de la Isla Livingston e Islas Shetland del Sur (Palma-Heldt *et al.*, 2007) y en el Paleógeno de Arauco (Palma-Heldt, 1980b; Palma-Heldt & Quinzio, 2006) y de Lonquimay, Provincia de Malleco (Palma-Heldt, 1983).

Afinidad botánica. Fungi.



Género *Unicellaesporites* Elsik

***Unicellaesporites* sp.**

Figura 3.F

Descripción. Espora fúngica unicelular, de contorno redondeado y liso, inaperturada. Exina doble, tamaño variable y coloración parduzca.

Principal material estudiado. 122, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 165, 248, 706, 707, 708, 1656, 1658, 1660, 1661, 1934, 1936, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgué, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, camino de Dichato hacia Coliumo, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol; Formación Trihueco, muestreada en río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Presente en muestras del Aptiano-Albiano de la Antártica hasta el Mioceno del continente Sudamericano (S. Palma-Heldt, com. pers. 30 de octubre, 2022).

Afinidad botánica: Fungi.

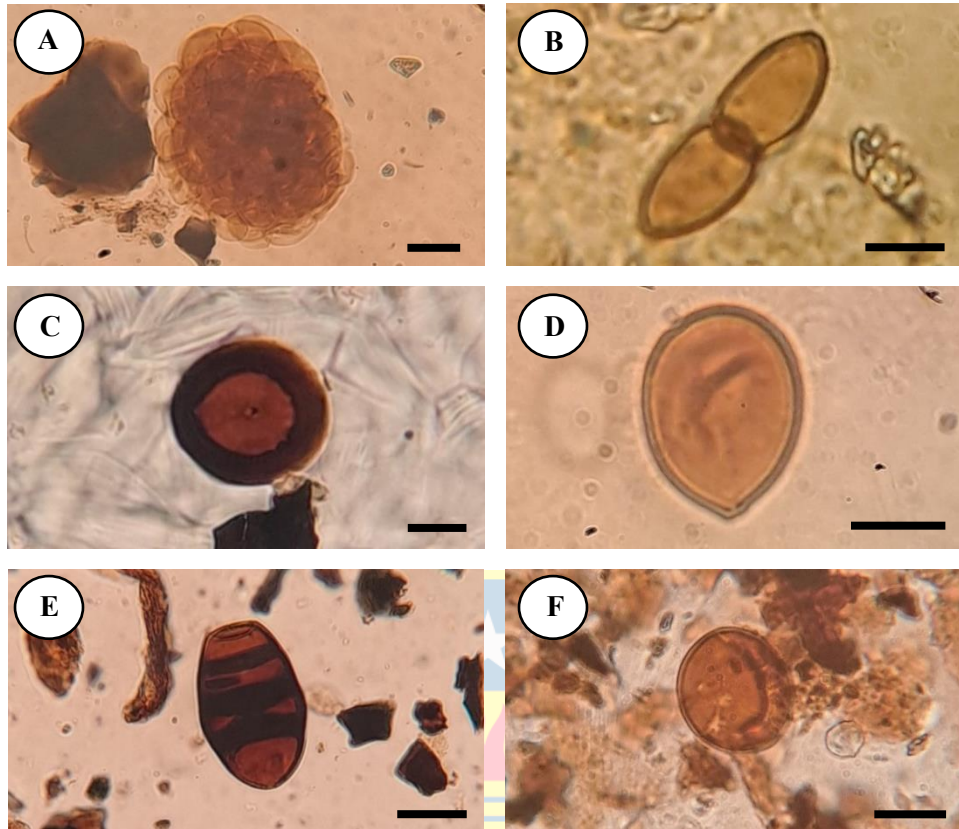


Figura 3. Esporas de alga y hongos epífitos y saprófitos. **A:** *Botryococcus* sp. **B:** *Dicellaesporites* sp. **C:** *Exesisporites* sp. **D:** *Lacrimasporonites* sp. **E:** *Multicellaesporites* sp. **F:** *Unicellaesporites* sp. Escala: 10 micrómetros.

Género **Cingutriletes** Pierce, 1961

Especie tipo. *Cingutriletes congruens* Pierce, 1961.

***Cingutriletes* sp.**

Figura 4.A

Descripción. Espora trilete cingulada, de contorno circular y liso. Contorno ecuatorial subtriangular, de lados convexos y ángulos redondeados. Diámetro ecuatorial entre 25 y 35 μm , cingulo de hasta 3 μm de ancho. Lesuras rectas.

Principal material estudiado. 248, 707.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehulemu y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Cretácico de Antártica, Argentina, Australia, Canadá y Morroco. Paleoceno de Antártica y Argentina. Eoceno y Oligoceno de Argentina (PBDB, n.d.), Del Triásico al Jurásico (zonas límite) de Nueva Zelanda (Raine et al., 2011).

Afinidad botánica. Bryophyta.

Género *Stereisporites* Pflug, 1953

Especie tipo. *Stereisporites steroides* Pflug, 1953

Stereisporites antiquasporites Dettmann, 1963

Figuras 4.B

Descripción. Espora radial trilete de contorno subtriangular en vista polar, lados convexos y ángulos redondeados. Lesura corta, recta y simple. Exina psilada. Diámetro ecuatorial de aproximadamente 26 μm .

Principal material estudiado. 146.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Distrito Laraquete de Mina Lota.

Distribución estratigráfica. Espora presente en el Cretácico de Australia; desde el Cretácico al Paleógeno de la Antártica; desde el Cretácico al Mioceno de Argentina (PBDB, n.d); desde el Triásico al Neógeno de nueva Zelanda.

Afinidad botánica. Bryophyta.

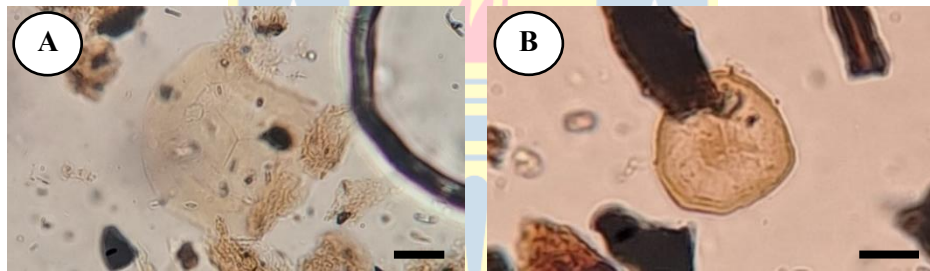


Figura 4. Esporas de briófitas. **A:** *Cingutriletes* sp. **B:** *Stereisporites antiquasporites*. Escala: 10 micrómetros.

Género *Auritulasporites* Nilsson, 1958

Especie tipo. *Auritulasporites granulatus* Nilsson, 1958

Auritulasporites scanicus Nilsson, 1958

Figura 5.A

Descripción. Espora trilete de contorno ecuatorial triangular y exina psilada. Lados rectos y ápices redondeados. Lesura prominente y recta. Diámetro ecuatorial de 40 μm aproximadamente.

Principal material estudiado. 1938.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Penco.

Distribución estratigráfica. Espora presente en el límite Triásico Jurásico de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011). El género se registra en el Jurásico y Cretácico de Argentina (PBDB, n.d).

Afinidad botánica. Filicopsida.

Género *Clavifera* Bolkhovitina, 1966

Especie tipo. *Clavifera triplex* Bolkhovitina, 1966.

Clavifera triplex Bolkhovitina, 1966

Figura 5.B

Descripción. Espora trilete de contorno ecuatorial triangular y exina psilada compuesta por dos capas. Lados rectos a cóncavos y ápices agudos. Lesura simple y recta. Diámetro ecuatorial entre 25 y 35 μm aproximadamente.

Principal material estudiado. 146, 147, 149, 150, 151, 152, 707, 1934, 1936, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgue y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem, Penco y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Especie ampliamente distribuía en el Cretácico Superior (Maastrichtiano) y Paleoceno de Argentina (Poviluskas, 2010; PBDB, n.d.). Presente desde el Cretácico al Paleógeno de la Antártica (Eoceno). En Chile, es posible encontrar esta espora en el Maastrichtiano de la Formación Quiriquina, en su localidad tipo Bahía Las Tablas (Palma-Heldt *et al.* 1998) y en el Paleógeno de Arauco (Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

Afinidad botánica. Filicopsida: Gleicheniaceae (*Dicranopteris flexuosa*).

Género *Cyathidites* Couper, 1953

Especie tipo. *Cyathidites australis* Couper, 1953.

Cyathidites australis Couper, 1953

Figura 5.C

Descripción. Espora trilete de contorno ecuatorial triangular y exina psilada compuesta por dos capas. Lados rectos a cóncavos y ápices redondeados. Lesura simple y recta. Diámetro ecuatorial entre 53-70 μm aproximadamente.

Principal material estudiado. 122, 165, 248, 705, 706, 707, 708, 1658, 1938.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgue y Mina Schwager; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem, Penco y Mina Trongol; Formación Trihueco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Se reconoce la especie en sedimentos del Cretácico al Paleógeno de la Antártica, Argentina, Australia, Nueva Zelanda, China e India. Está presente en el Oligo-Mioceno de Australia (PBDB, n.d) En Chile, se registra en el Paleógeno de Lonquimay (Palma-Heldt, 1983), de Arauco (Palma-Heldt, 1980a,b).

Afinidad botánica. Filicopsida: Cyatheaceae (*Cyathea*).

Cyathidites concavus (Bolkhovitina, 1953)

Figuras 5.D

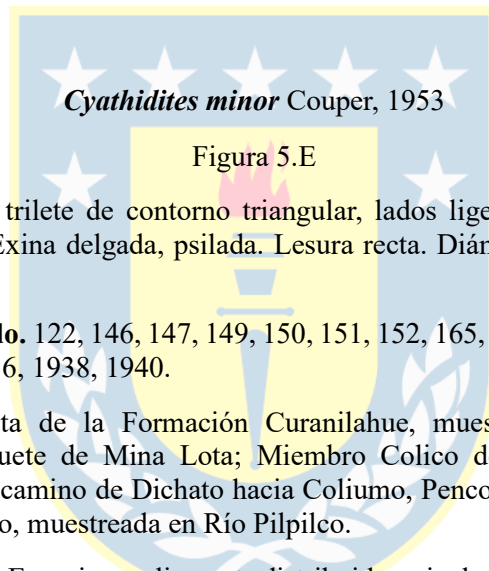
Descripción. Espora trilete de contorno ecuatorial triangular y exina psilada a finamente escarbada, bordes angulosos y marcadamente cóncavos. Lesura simple y recta. Diámetro ecuatorial entre 18 y 40 μm aproximadamente.

Principal material estudiado. 165, 705, 706, 707, 1656.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, Lomas de Bellavista; Formación Trihueco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Se distribuye desde el Aptiano (Cretácico Inferior) hasta el Paleógeno tardío de Rusia (Bolkhovitina, 1953); Cretácico de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011), de Argentina y de Canadá (PBDB, n.d); Jurásico tardío-Cretácico temprano de la Isla Livingston en la Antártica y a lo largo del Mesozoico de Sudamérica (Povilauskas, 2010).

Afinidad botánica. Filicopsida.



Descripción. Espora radial trilete de contorno triangular, lados ligeramente cóncavos a rectos y extremos subredondeados. Exina delgada, psilada. Lesura recta. Diámetro ecuatorial entre 25 y 40 μm .

Principal material estudiado. 122, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 165, 248, 705, 706, 707, 708, 1656, 1658, 1660, 1661, 1934, 1936, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholegüe, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, camino de Dichato hacia Coliumo, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol; Formación Trihueco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Especie ampliamente distribuida a nivel mundial, presente en el Jurásico de Francia e India; Cretácico Argentina, Australia, Las Bahamas, Brasil, Canadá; Desde el Cretácico al Paleógeno de la Antártica y Nueva Zelanda; Y desde el Paleoceno al Mioceno de Argentina (PBDB, n.d). Es posible encontrar esta espora en el Paleoceno, Oligoceno y Mioceno de Australia (Raine *et al.*, 2011). Y en Chile, está presente en el Maastrichtiano de la Formación Quiriquina, en su localidad tipo Bahía Las Tablas (Palma-Heldt *et al.*, 1998), y en el Paleógeno de Arauco (Palma-Heldt, 1980b) y de Lonquimay (Palma-Heldt, 1983).

Afinidad botánica. Filicopsida: Cyatheaceae.

Género *Gleicheniidites* Dettmann, 1963

Especie tipo. *Gleicheniidites senonicus* Ross, 1949

Gleicheniidites senonicus Ross, 1949

Figura 5.F

Descripción. Espora radial trilete de contorno triangular, biconvexa. Lados rectos a convexos y extremos subredondeados. Lesura recta a levemente sinuosa, con labios delgados y angostos. Exina psilada, engrosada en la zona interr radial. Diámetro ecuatorial entre 23-40 μm .

Principal material estudiado. 147, 149, 150, 151, 152, 165, 248, 705, 706, 707, 1656, 1658, 1934, 1936, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, Lomas de Bellavista y Mina Trongol; Formación Trihueco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Especie ampliamente distribuida en el Cretácico de la Antártica, Argentina, Canadá, Chile, Colombia, entre otros; Cretácico al Neógeno (Mioceno) de Argentina y Nueva Zelanda (PBDB, n.d); Paleógeno de Isla Livingston, Antártica (Palma-Heldt *et al.*, 2007). En Chile, ubicable en el Paleógeno de Arauco (Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

Afinidad botánica. Filicopsida: Gleicheniaceae (*Gleichenia circinata*, *Dicranopteris*).

Género *Laevigatosporites* Ibrahim, 1933

Especie tipo. *Laevigatosporites vulgaris* Ibrahim, 1933

Laevigatosporites ovatus Wilson & Webster, 1946

Figura 5.G

Descripción. Espora monolete, de exina psilada. En vista polar, de contorno elíptico y, en vista ecuatorial, de contorno cóncavoconvexo. Lesura recta que ocupa 2/3 del largo de la espora. Diámetro ecuatorial mayor de 35 μm y diámetro ecuatorial menor de 23 μm , aproximadamente.

Principal material estudiado. 122, 146, 147, 149, 150, 151, 165, 248, 705, 706, 707, 708, 1656, 1658, 1661, 1936, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, camino de Dichato hacia Coliumo, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol; Formación Trihueco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Presente desde el Cretácico al Neógeno de Nueva Zelanda (Raine *et al.* 2011). Es posible encontrar el género *Laevigatosporites* en el Maastrichtiano de la Formación Quiriquina, en su localidad tipo (Palma-Heldt *et al.*, 1998). Presente en Cretácico temprano del Glaciar Aranda, Cabo Shirreff y en la Península Byers, Antártica (Palma-Heldt *et al.*, 2007) y en el Paleógeno de Arauco (Palma-Heldt, 1980b).

Afinidad botánica. Filicopsida: Aspleniaceae, Blechnaceae, Pteridiaceae, Schizaeaceae.

Laevigatosporites vulgaris Ibrahim, 1933

Figuras 5.H

Descripción. Espora monoete de exina psilada. Contorno elíptico, oval, en vista polar y cóncavoconvexo o planoconvexo en vista ecuatorial. Lesura recta que ocupa 1/3 del largo de la espora. Diámetro ecuatorial mayor sobre 30 µm.

Principal material estudiado. 122, 146, 147, 150, 152, 165, 248, 705, 706, 707, 708, 1656, 1658, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol; Formación Trihueco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Se conoce desde el Carbonífero hasta el Terciario (Alpern & Doubinger, 1973). Presente desde el Carbonífero (Pensilvaniano) al Pérmico de Estados Unidos y en el Cretácico de Argentina (PBDB, n.d). Espora ubicable en el Triásico de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011). En Chile está presente en el Maastrichtiano de la Formación Quiriquina, en su localidad tipo Bahía Las Tablas; en las secuencias paleógenas de Arauco (Palma-Heldt & Quinzio, 2006) y de Lonquimay (Palma-Heldt, 1983).

Afinidad botánica. Filicopsida?

Género *Peromonolites* Couper, 1953

Especie tipo. *Peromonolites bowenii* Couper, 1953

Peromonolites bowenii Couper, 1953

Figura 5.I

Descripción. Espora monoete, en vista lateral planoconvexa a cóncavoconvexa. Exina internamente lisa y externamente con esculturación micro granulada. Lesura extendida más de la mitad de la longitud de la espora.

Principal material estudiado. 122, 146, 152, 705, 706, 1934, 1936.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Cretácico al Paleógeno de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011). En Chile, representantes de este género están presentes en el Paleógeno de Arauco (Palma-Heldt, 1980a,b)

Afinidad botánica. Filicopsida.

Género *Trilites* Erdtman & Couper, 1947

***Trilites* sp.**

Figura 5.J

Descripción. Espora trilete de contorno triangular a subtriangular, lesura recta, ligera o notoriamente abierta. Exina lisa. Eje mayor de aproximadamente 35 a 40 μm .

Principal material estudiado. 122, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 165, 248, 705, 706, 707, 708, 1660, 1661, 1934, 1936, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, Dichato hacia Coliumo, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol; Formación Trihuco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución Estratigráfica. Espora presente en el Pérmico de Italia, Jurásico de Francia, Cretácico de la Antártica, Argentina, Australia, Brasil y Chile. Registrada en el Paleoceno de la Antártica y en el Paleógeno de Argentina y Australia (PBDB, n.d.). En Chile, también se ha ubicado en los mantos carboníferos del Paleógeno de Arauco-Concepción (Palma-Heldt, 1980b) y en el Oligoceno (PBDB, n.d.).

Afinidad botánica. Pteridophyta.

Género *Verrucosisporites* Potonie & Kremp, 1954

cf. *Verrucosisporites* sp.

Figura 5.K

Descripción. Espora trilete de contorno subtriangular a circular, lesura recta. Exina berrucada. Diámetro ecuatorial de aproximadamente 50 μm .

Principal material estudiado. 1656, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Penco y Lomas de Bellavista.

Distribución Estratigráfica. Espora presente en el Devónico de Bélgica, Brasil y Canadá; desde el Devónico al Carbonífero de Australia; Carbonífero de Argentina; Pérmico de la India, Italia, Noruega y Estados Unidos; Triásico y Cretácico de la Antártica; desde el Jurásico al Neógeno (Mioceno) de Argentina; desde el Cretácico al Paleógeno de Chile (PBDB, n.d), presente en los estratos paleógenos de Lonquimay, Provincia de Malleco (Palma-Heldt, 1983).

Afinidad botánica. Pteridophyta: Polypodiopsida.

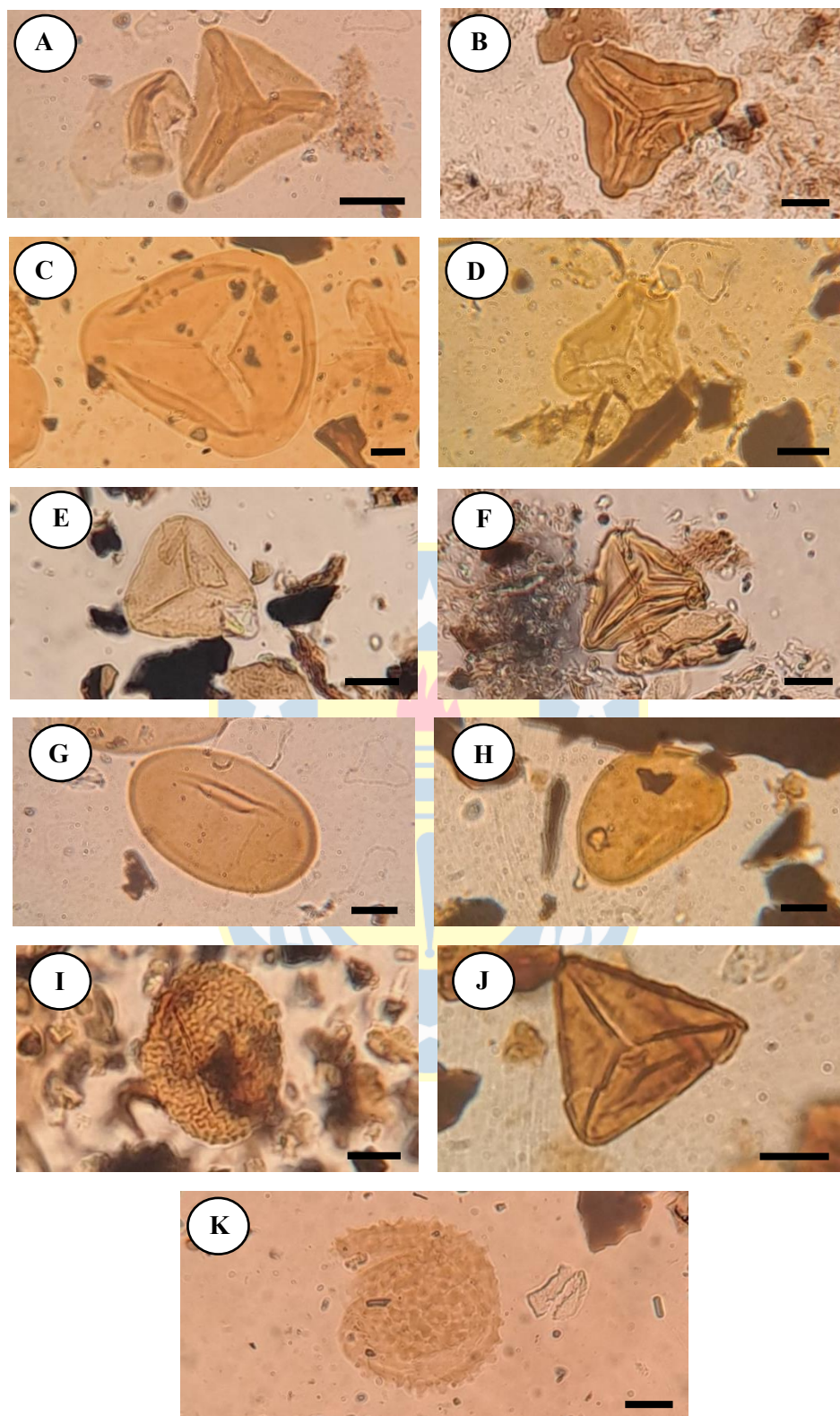


Figura 5. Esporas de helechos. **A:** *Auritulinasporites scanicus*. **B:** *Clavifera triplex*. **C:** *Cyathidites australis*. **D:** *Cyathidites concavus*. **E:** *Cyathidites minor*. **F:** *Gleicheniidites senonicus*. **G:** *Laevigatosporites ovatus*. **H:** *Laevigatosporites vulgaris*. **I:** *Peromonolites bowenii*. **J:** *Trilites* sp. **K:** cf. *Verrucosisporites* sp. Escala: 10 micrómetros.

Género *Araucariacites* Cookson & Couper, 1953

Especie tipo. *Araucariacites australis* Cookson, 1947.

Araucariacites australis Cookson, 1947

Figura 6.A

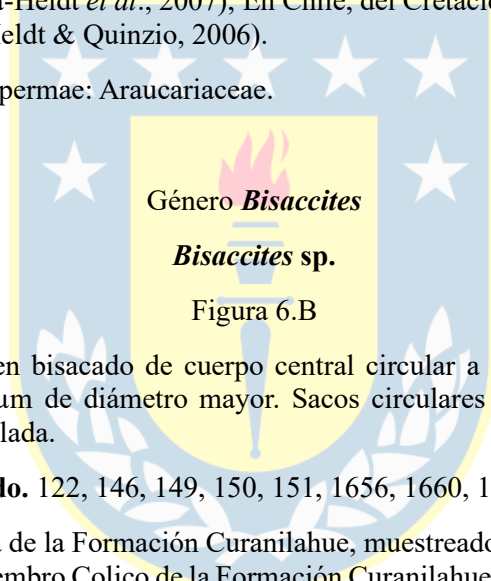
Descripción. Grano inaperturado, subcircular, generalmente aplastado y con pliegues en la exina. Exina delgada y granulada hasta escabrada. Diámetro entre 60 y 90 μm .

Principal material estudiado. 146, 705, 706, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu y Penco.

Distribución estratigráfica. Esta forma se conoce desde el Jurásico al Oligoceno de Australia, Nueva Zelanda, Europa y Sudamérica (Palma-Heldt, 1983); del Cretácico tardío al Paleógeno de Isla Livingston, Antártica (Palma-Heldt *et al.*, 2007); En Chile, del Cretácico Superior al Paleógeno de la Cuenca de Arauco (Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

Afinidad botánica. Gimnospermae: Araucariaceae.



Género *Bisaccites*

Bisaccites sp.

Figura 6.B

Descripción. Grano de polen bisacado de cuerpo central circular a subcircular en vista polar, de aproximadamente 20 a 30 μm de diámetro mayor. Sacos circulares a ovales, con ornamentación finamente reticulada a reticulada.

Principal material estudiado. 122, 146, 149, 150, 151, 1656, 1660, 1938.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol.

Afinidad botánica. Gymnospermae.

Género *Lygistepollenites* Harris, 1965

Especie tipo. *Lygistepollenites florinii* Harris, 1965

Lygistepollenites florinii Stover & Evans, 1973

Figura 6.C

Descripción. Grano de polen bisacado de contorno subcircular a oval en vista polar. Cara proximal corrugada a densamente rugulosa. Sacos pequeños, proyectados distalmente y alargados en forma transversal. Diámetro polar de 25 a 30 μm y diámetro ecuatorial entre 15 y 20 μm .

Principal material estudiado. 705, 706.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem.

Distribución estratigráfica. Especie presente en Argentina desde el Cretácico tardío al Paleógeno (Povilauskas, 2010). En Chile es ubicable desde el Cretácico Superior de la Cuenca de Arauco (Palma-Heldt & Quinzio, 2006) hasta el Eoceno tardío-Oligoceno temprano a medio (Fasola, 1969).

Chile, en el Cretácico Superior de la Cuenca de Arauco

Afinidad botánica. Gymnospermae.

Género *Podocarpidites* Cookson, 1947

Especie tipo. *Podocarpidites ellipticus* Cookson, 1947.

Podocarpidites marwickii Couper, 1953

Figura 6.D

Descripción. Polen bisacado. Cuerpo de contorno subcircular en vista polar y lentiforme en vista ecuatorial, de superficie finamente reticulada. Sacos semicirculares en vista polar, más anchos o iguales al cuerpo, también reticulados. Generalmente un diámetro es algo mayor que el otro, encontrándose ambos entre los 24 y 40 μm .

Principal material estudiado. 122, 146, 149, 151, 152, 705, 706, 1656, 1658, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholegüe, Mina Schwager y Distrito Laraquete, Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem, Penco y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Especie presente desde el Cretácico al Neógeno de Nueva Zelanda; desde el Cretácico al Mioceno de Argentina y en el Cretácico y Paleoceno de la Antártica y de Chile (PBDB, n.d.), en localidades como Bahía Las Tablas, Isla Quiriquina (Maastrichtiano) (Palma-Heldt *et al.*, 1998), Cuenca de Arauco (Paleógeno Inferior) (Palma-Heldt & Quinzio, 2006), Osorno (Troncoso & Barrera, 1980) y Península Byers (Palma-Heldt *et al.*, 2007).

Afinidad botánica. Gymnospermae: Podocarpaceae (*Podocarpus*, *Prumnopitys*)

Podocarpidites otagoensis Couper, 1953

Figura 6.E

Descripción. Polen bisacado. Cuerpo de contorno subcircular en vista polar y lentiforme en vista ecuatorial, de superficie finamente reticulada. Sacos semicirculares en vista polar, menos anchos que el cuerpo, también reticulados. Generalmente un diámetro es algo mayor que el otro, encontrándose ambos entre los 15 y 25 μm .

Principal material estudiado. 122, 146, 149, 151, 152, 165, 705, 706, 707, 708, 1661.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem, camino de Dichato hacia Coliumo y Mina Trongol; Formación Trihueco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Especie ubicable en el Cretácico de la Antártica y de Argentina; del Cretácico al Paleógeno de Nueva Zelanda y en el Paleógeno de Chile (PBDB, n.d), en Lonquimay (Palma-Heldt, 1983) y de Arauco (Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

Afinidad botánica. Gymnospermae: Podocarpaceae.

Género *Trisaccites* Menéndez, 1968

Trisaccites sp.

Figura 6.F

Descripción. Grano de polen trisacado de cuerpo central circular a subcircular en vista polar, diámetro ecuatorial de 40 μm aproximadamente.

Principal material estudiado. 122, 706, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem, Cocholgüe y Mina Schwager; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Penco.

Afinidad botánica. Gymnospermae: Podocarpaceae.

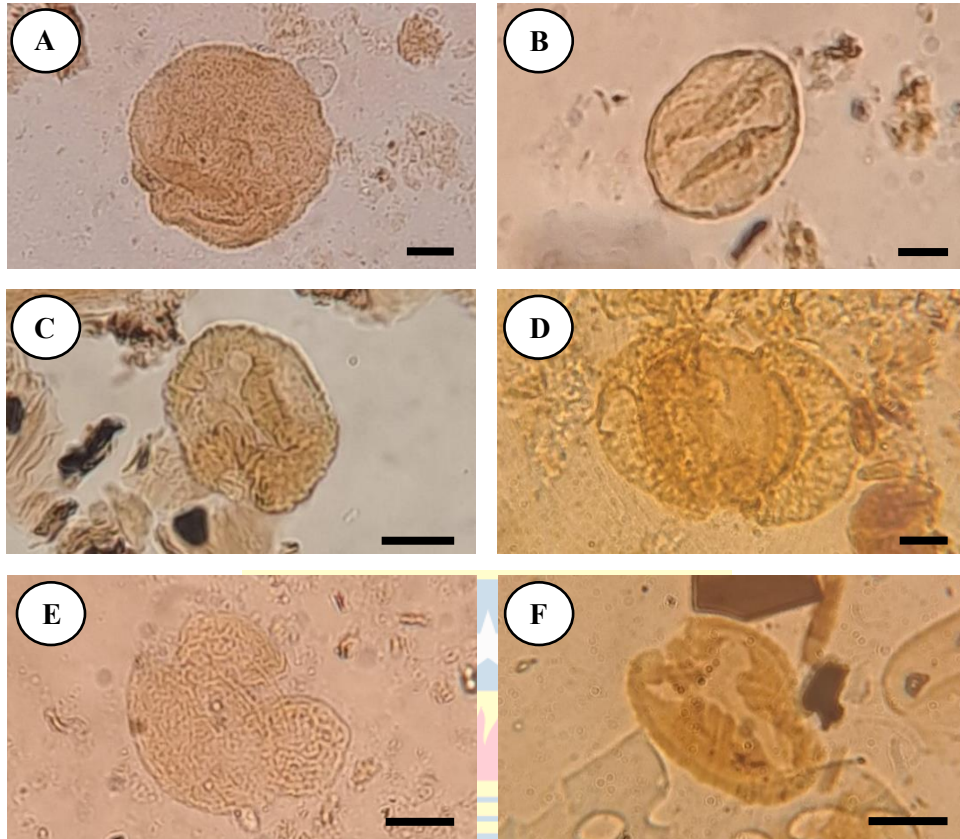


Figura 6. Granos de polen de gimnospermas. **A:** *Araucariacites australis*. **B:** *Bisaccites* sp. **C:** *Lygistepollenites florinii*. **D:** *Podocarpidites marwickii*. **E:** *Podocarpidites otagoensis*. **F:** *Trisaccites* sp. Escala: 10 micrones.

Género *Bombacacidites* Couper, 1960

Especie tipo. *Bombacacidites bombaxoides* Couper, 1960

Bombacacidites isoreticulatus McIntyre, 1968

Figura 7.A

Descripción. Grano de polen tricollado de radio simétrico, isopolar, de contorno subcircular a subtriangular. Exina semitecada con estructuración reticulada. Diámetro ecuatorial de 25 μm o superior.

Principal material estudiado. 1656.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Lomas de Bellavista.

Distribución estratigráfica. Identificado en el Paleoceno de Argentina (PBDB, n.d) y en el Paleógeno de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae: Bombacaceae (*Bombax ceiba*, *B. rhodognaphalon* y *B. pubescens*)

Género *Haloragacidites* Couper, 1953

Especie tipo. *Haloragacidites trioratus* Couper, 1953

Haloragacidites harrisii Mildenhall & Harris, 1971

Figura 7.B

Descripción. Grano de polen triporado de contorno subtriangular en vista polar, lados conexos y bordes angulosos. Poros simples. Exina delgada y finamente escarbada. Diámetro ecuatorial de aproximadamente 20 μm o superior.

Principal material estudiado. 122, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 165, 248, 1656, 1658, 1660, 1661, 1934, 1938.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en camino de Dichato hacia Coliumo, Lomas de Bellavista y Mina Trongol; Formación Trihuco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Especie presente en el Cretácico y Paleoceno de Argentina; desde el Cretácico al Paleógeno (Paleoceno y Eoceno) de la Antártica; desde el Paleoceno al Mioceno de Australia y en registrado en el Paleógeno de Chile (PBDB, n.d.), en Arauco (Palma-Heldt, 1980b).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae: Myriaceae (*Canacomyrica*)

Género *Liliacidites* Couper, 1953

Especie tipo. *Liliacidites kaitangataensis* Couper, 1953

Liliacidites kaitangataensis Couper, 1953

Figura 7.C

Descripción. Grano de polen monocolpado y reticulado, de contorno elíptico a ovalado con extremos redondeados. El colpo se extiende a lo largo de todo el grano. Exina tecada, diferenciada en nexina y sexina. Diámetro polar entre 32 y 46 μm , diámetro ecuatorial entre 20 y 26 μm .

Principal material estudiado. 122, 146, 151, 152, 165, 705, 706, 707.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, Mina Trongol; Formación Trihuco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Especie registrada en Antártica: Albiano-Cenomaniano de las Islas James Ross (Dettman & Thomson, 1987); Campaniano tardío-Maastrichtiano de las Islas Seymour (Askin, 1990). En Nueva Zelanda: Cretácico tardío-Oligoceno temprano (Couper, 1953); Campaniano-Maastrichtiano (Raine, 1984). En Chile, ubicable en el Paleógeno de la Cuenca de Arauco (Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

Afinidad botánica. Angiospermae: Monocotyledonae: Liliaceae.

Liliacidites variegatus Couper, 1953

Figura 7.D

Descripción. Grano de polen monocolpado y reticulado, de contorno elíptico a ovalado con extremos redondeados. El colpo se extiende a lo largo de todo el grano. Exina delgada. Diámetro polar entre 28 y 40 μm y diámetro ecuatorial entre 15 y 20 μm .

Principal material estudiado. 122, 147, 149, 150, 151, 152, 165, 705, 706, 707, 1656, 1658, 1660, 1661, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Schwager; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, camino de Dichato hacia Coliumo, Penco y Lomas de Bellavista,

Mina Trongol, Lomas de Bellavista, camino de Dichato hacia Coliumo y Penco; Formación Trihueco, muestreado a orillas del río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Especie registrada en el Cretácico de Canadá, China, Perú; Cretácico al Paleógeno de la Antártica, Cretácico al Mioceno de Argentina (PBDB, n.d); Cretácico al Neógeno de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011); Cretácico Superior de la Cuenca de Arauco, en Chile (Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

Afinidad botánica. Angiospermae: Monocotyledonae: Liliaceae.

Género *Malvacipollis* Harris, 1965

Especie tipo. *Malvacipollis diversus* Harris, 1965

Malvacipollis sp.

Figura 7.E

Descripción. Grano subsférico, de 30 a 50 μm de diámetro. Exina notoriamente espinulosa. Espinas rectas, de terminación aguda y base ancha.

Principal material estudiado. 705.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu.

Distribución estratigráfica. Género presente en: Cretácico y Eoceno de Antártica; Paleógeno (Paleoceno) al Cuaternario de Australia; Paleoceno al Mioceno de Nueva Zelanda; Eoceno al Mioceno de Argentina (PBDB, n.d).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae: Euphorbiaceae, Malvaceae?

Género *Monocolpites* van der Hammen, 1954

***Monocolpites* sp.**

Figura 7.F

Descripción. Grano monocolpado de contorno elíptico. Exina delgada, lisa, claramente diferenciada en dos capas. Colpo que abarca desde los 2/3 a casi la totalidad del eje longitudinal. Diámetro mayor de 20 a 40 μm y diámetro menor de 10 a 25 μm .

Principal material estudiado. 122, 146, 149, 150, 705, 706, 707, 708, 1656, 1658, 1660, 1661, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem, Cocholgue, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en camino de Dichato hacia Coliumo, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Género ubicable desde el Jurásico al Cretácico de Egipto, en el Cretácico de Brasil, Paleógeno de India y Eoceno de Perú (PBDB, n.d.). En Chile, se ha registrado en el Paleógeno de Lonquimay, Provincia de Malleco (Palma-Heldt, 1983).

Afinidad botánica. Angiospermae: Monocotyledonae.

Género *Myrtaceidites* Cookson & Pike, 1960

Especie tipo. *Myrtaceidites mesonesus* Cookson & Pike, 1954

***Myrtaceidites eugenioides* Cookson & Pike, 1954**

Figura 7.G

Descripción. Grano subtriangular, triporado, syncolpado, de aproximadamente 12 μm de diámetro ecuatorial. Exina finamente granulada.

Principal material estudiado. 151, 706.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Especie presente en el Cretácico de la Antártica; Eoceno al Mioceno de Australia (PBDB, n.d); Paleógeno al Neógeno de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011). En Chile, es ubicable en los sedimentos paleógenos de la Cuenca de Arauco.

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae: Myrtaceae (*Leptospermum scoparium*, *Kunzea ericoides*)

Myrtacidites parvus Cookson & Pike, 1954

Figura 7.H

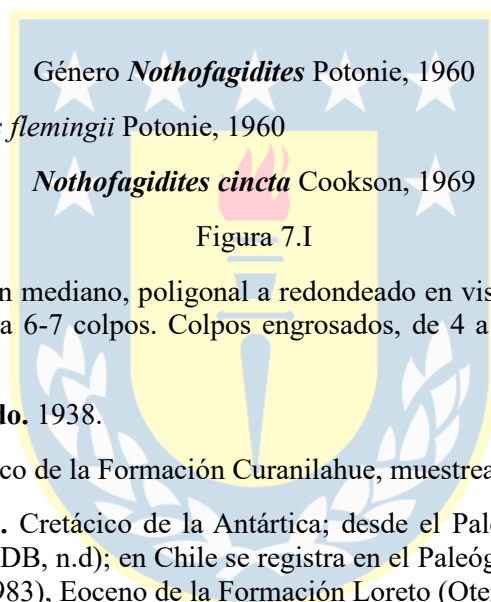
Descripción. Grano subtriangular, triporado, syncolpado, de aproximadamente 10 a 15 μm de diámetro ecuatorial. Exina psilada.

Principal material estudiado. 122, 149, 150, 151, 152, 1656, 1658, 1660, 1661, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgue, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en camino de Dichato hacia Coliumo, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Especie presente en del Paleoceno al Eoceno de Estados Unidos; del Paleoceno al Oligo-Mioceno de Australia; Eoceno de Antártica (PBDB, n.d); desde el Paleógeno al Reciente de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae: Myrtaceae (*Leptospermum scoparium*, *Kunzea*)



Especie tipo. *Nothofagidites flemingii* Potonie, 1960

Nothofagidites cincta Cookson, 1969

Figura 7.I

Descripción. Grano de polen mediano, poligonal a redondeado en vista polar, entre 30 y 40 μm de diámetro ecuatorial. Presenta 6-7 colpos. Colpos engrosados, de 4 a 5 μm de profundidad. Exina delgada, microespinulada.

Principal material estudiado. 1938.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Penco.

Distribución estratigráfica. Cretácico de la Antártica; desde el Paleógeno (Eoceno) al Neógeno (Mioceno) de Argentina (PBDB, n.d); en Chile se registra en el Paleógeno de Lonquimay, Provincia de Malleco (Palma-Heldt, 1983), Eoceno de la Formación Loreto (Otero *et al.*, 2012).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae: Nothofagaceae (*Nothofagus betuloides*).

Nothofagidites cranwellae Mildenhall, 2003

Figura 7.J

Descripción. Grano de polen estefanocolpado, poligonal en vista polar. Presenta por lo general 6 colpos, sin engrosamiento. Exina continua. Esculturación compuesta por espinas pequeñas, de tamaño y distribución uniformes.

Principal material estudiado. 1660, 1661.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en camino de Dichato hacia Coliumo y Lomas de Bellavista.

Distribución estratigráfica. Cretácico al Paleoceno de Antártica; Eoceno de Argentina; Eoceno al Oligoceno de Chile (PBDB, n.d); Paleógeno al Pleistoceno de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae: Nothofagaceae (*Nothofagus* subg. *Brassospora* - *Nothofagus* tipo *brasii*).



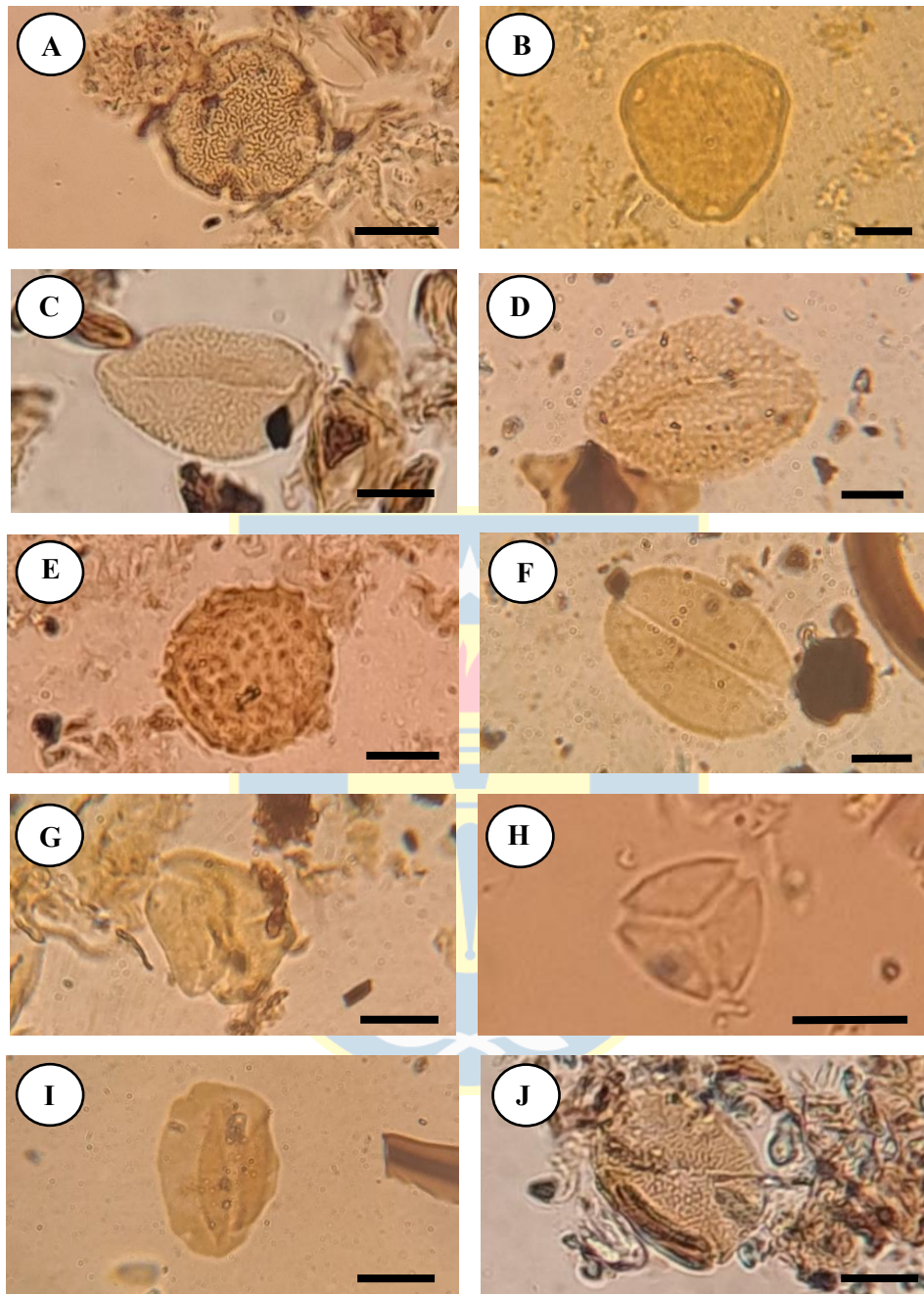


Figura 7. Granos de polen de angiospermas. **A:** *Bombacacidites isoreticulatus*. **B:** *Haloragacidites harrisii*. **C:** *Liliacidites kaitangataensis*. **D:** *Liliacidites variegatus*. **E:** *Malvacipollis* sp. **F:** *Monocolpites* sp. **G:** *Myrtacidites eugenioides*. **H:** *Myrtacidites parvus*. **I:** *Nothofagidites cincta*. **J:** *Nothofagidites cranwellae*. Escala: 10 micrómetros.

Género *Proteacidites* Cookson & Couper, 1953

Especie tipo. *Proteacidites adenanthoides* Cookson, 1950

Proteacidites crassus Cookson, 1950

Figura 8.A

Descripción. Polen triporado de contorno ecuatorial triangular y lados rectos a ligeramente convexos. Exina psilada, diferenciada en dos capas. Diámetro ecuatorial sobre 20 μm . Poros de aproximadamente 3 a 5 μm de largo.

Principal material estudiado. 152, 706, 1656, 1660, 1661, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, camino de Dichato hacia Coliumo, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Tringol.

Distribución estratigráfica. Paleógeno de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011). Presente en Chile en el Maastrichtiano de la Formación Quiriquina, en su localidad tipo Bahía Las Tablas (Palma-Heldt *et al.*, 1998) y en el Paleógeno de Arauco (Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae: Proteaceae.

Proteacidites parvus Cookson, 1950

Figura 8.B

Descripción. Polen triporado de contorno triangular a subtriangular en vista polar con lados rectos y angulosos. Exina psilada, diferenciada en dos capas. Diámetro ecuatorial de 25 a 35 μm . Poros de aproximadamente 3 μm de largo.

Principal material estudiado. 146, 147, 149, 150, 151, 152, 165, 1656, 1658, 1660, 1661, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en camino de Dichato hacia Coliumo, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Tringol; Formación Trihueco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Presente desde el Cretácico al Paleógeno de la Antártica y de Argentina; y en el Paleógeno de Chile (PBDB, n.d.). En Chile, se registra, además, en localidades como Bahía Las Tablas, en Isla Quiriquina (Maastrichtiano) (Palma-Heldt & Quinzio, 2006), Glaciar Aranda, Cabo Shirreff (Cretácico temprano) (Palma-Heldt *et al.*, 2007) y Osorno (Eoceno) (Troncoso & Barrera, 1980).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae: Proteaceae.

***Proteacidites* sp.**

Figura 8.C

Descripción. Polen triporado de contorno subtriangular en vista polar, con lados ligeramente convexos. Exina psilada, diferenciada en dos capas. Diámetro ecuatorial de 50 μm y poros de aproximadamente 15 μm de largo.

Principal material estudiado. 705, 708, 1660.

Procedencia. Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem y Lomas de Bellavista.

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae: Proteaceae.

Género *Psilatricolpites* van der Hammen & Wijmstra, 1964

Especie tipo. *Psilatricolpites clarissimus* van der Hammen & Wijmstra, 1964.

***Psilatricolpites* sp.**

Figura 8.D

Descripción. Polen tricolpado de exina lisa y contorno elíptico a subredondeado. Colpos profundos y largos, prolongados casi hasta los poros. Exina psilada, delgada y de grosor constante. Diámetro mayor de 15 a 20 μm y diámetro menor de 10 a 15 μm , aproximadamente.

Principal material estudiado. 122, 149, 150, 151, 152, 705, 706, 707, 708, 1656, 1660, 1661, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem, camino de Dichato hacia Coliumo, Lomas de Bellavista y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Registrado en el Cretácico de la Antártica, Argentina, Brasil y Perú. Presente en Argentina desde el Cretácico al Eoceno (PBDB, n.d.).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae.

Género **Spinizonocolpites** Muller, 1968

Especie tipo. *Spinizonocolpites echinatus* Muller, 1968

Spinizonocolpites echinatus Muller, 1968

Figuras 8.E – 8.F

Descripción. Grano de polen monocolpado de contorno subesferoidal. Colpo situado ecuatorialmente, apenas visible, dividiendo al grano en dos mitades iguales. Exina fina, superficialmente lisa y ornamentada con abundantes espinas cónicas, de extremos puntiagudas, distribuidas de forma irregular sobre la superficie del grano. Diámetro de 35 μm .

Principal material estudiado. 122, 146, 147, 150, 151, 152, 165, 1661.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en camino de Dichato hacia Coliumo y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Cretácico de Egipto; Eoceno de Estados Unidos y Venezuela (PBDB, n.d); Paleógeno de la Cuenca de Arauco, en Chile.

Afinidad botánica. Angiospermae: Monocotyledonae: Palmae (*Nypa*).

Género **Retitricolpites** van der Hammen, 1956

Especie tipo. *Retitricolpites reticulatus* van der Hammen, 1956

***Retitricolpites* sp.**

Figura 8.G

Descripción. Polen tricolpado, prolato a esferoidal oblato, de diámetro polar variable, de aproximadamente 20 a 25 μm . Exina reticulada a finamente reticulada.

Principal material estudiado. 122, 146, 149, 150, 152, 165, 705, 706, 707, 1656, 1658, 1660, 1661, 1934, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe, Mina Schwager y Distrito Laraquete de Mina Lota; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualemu, camino de Dichato hacia Coliumo, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol; Formación Trihueco, muestreada en Río Pilpilco.

Distribución estratigráfica. Cretácico de la Antártica, Austria, Brasil, Perú, Canadá, Estados Unidos, entre otros; Cretácico al Eoceno de Colombia; Eoceno de la Antártica, India y Venezuela; Mioceno de India (PBDB, n.d).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae.

Género *Tricolpites* Couper, 1953

Especie tipo. *Tricolpites reticulatus* Cookson, 1947.

***Tricolpites* sp.**

Figura 8.H

Descripción. Polen tricolpado, prolato a esferoidal oblato, de 15 a 25 μm de diámetro polar. Exina lisa, diferenciada en dos capas.

Principal material estudiado. 122, 152, 706, 707, 1660, 1938, 1940.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe y Mina Schwager; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Trehualem, Penco, Lomas de Bellavista y Mina Trongol.

Distribución estratigráfica. Registrado desde el Cretácico al Paleógeno de la Antártica, Argentina, Chile y Nueva Zelanda; y en el Mioceno de Argentina y Australia (PBDB, n.d.). En Chile, se distribuye en el Paleógeno de Arauco (Palma-Heldt, 1980b) y en el Eoceno de Osorno (Troncoso & Barrera, 1980).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae.

Género *Tricolporites* Cookson, 1947

Especie tipo. *Tricolporites sphaerica* Cookson, 1947.

***Tricolporites* sp.**

Figura 8.I

Descripción. Grano de polen tricolporado, isopolar, prolato a subprolato. Colpos largos, extendiéndose hasta los polos. Poros pequeños, en ocasiones no se visualizan bien por la estructuración de la pared. Diámetro ecuatorial de 10 μm y diámetro polar de 25 μm aproximadamente.

Principal material estudiado. 1656, 1658.

Procedencia. Miembro Lota de la Formación Curanilahue, muestreado en Cocholgüe; Miembro Colico de la Formación Curanilahue, muestreado en Lomas de Bellavista.

Distribución estratigráfica. Registrado desde el Cretácico al Paleógeno (Eoceno) de la Antártica; desde el Cretácico al Paleógeno (Oligoceno) de Argentina; desde el Cretácico al Neógeno (Mioceno) de Australia; desde el Eoceno al Oligoceno de Chile (PBDB, n.d), presente en los estratos paleógenos de Lonquimay, Provincia de Malleco (Palma-Heldt, 1983); desde el Paleógeno al Neógeno de Nueva Zelanda (Raine *et al.*, 2011).

Afinidad botánica. Angiospermae: Dicotyledonae.

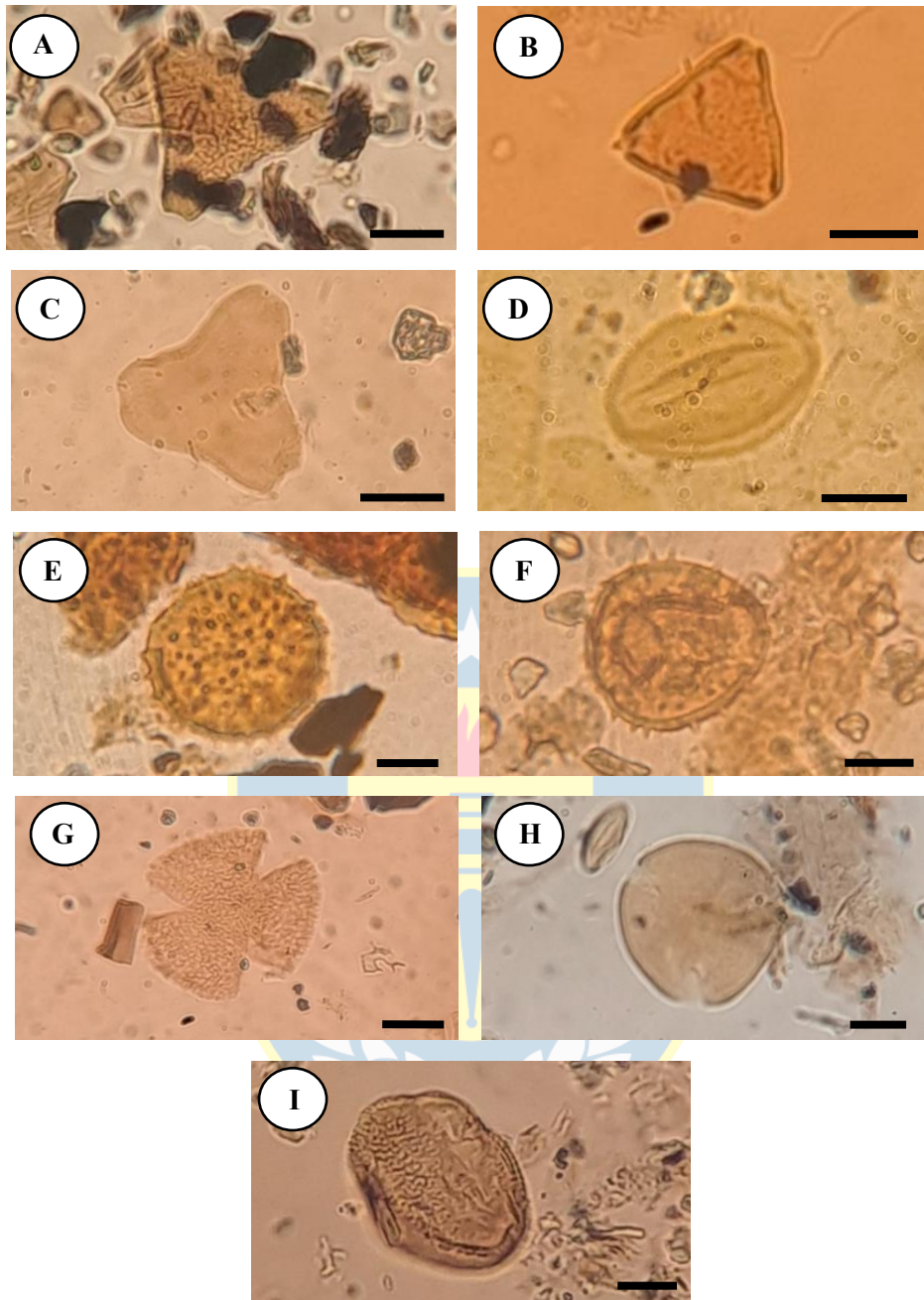


Figura 8. Granos de polen de angiospermas. **A:** *Proteacidites crassus*. **B:** *Proteacidites parvus*. **C:** *Proteacidites* sp. **D:** *Psilatricolpites* sp. **E-F:** *Spinizonocolpites echinatus*. **G:** *Retitricolpites* sp. **H:** *Tricolpites* sp. **I:** *Tricolporites* sp. Escala: 10 micrómetros.

3.4. ANÁLISIS DE PORCENTAJES

Se analizaron 21 muestras provenientes de distintas localidades, formaciones geológicas, miembros y secciones de la Cuenca de Arauco (Tabla 12, en Anexo). El conteo se realizó hasta alcanzar aproximadamente los 150 palinomorfos o la frecuencia máxima, dependiendo del potencial polínico de la muestra. Los resultados para cada una de las muestras se exhiben en tablas, detallando las polen esporas identificadas y el promedio de los grandes grupos vegetales presentes en cada localidad se visualiza mediante gráficos de barra.

3.4.1. Trehualemu

Se analizaron cuatro muestras de esta localidad, provenientes de los mantos 1, 2, 3 y 4 de lo que se estima que sería el Miembro Colico de la Formación Curanilahue. En los primeros tres mantos el grupo vegetal dominante es Pteridophyta y en el cuarto, Fungi. Se contabilizó un total de 515 palinomorfos y se registraron 30 morfotipos, de los cuales 16 fueron identificados a nivel de morfoespecie y 14 como morfogéneros. El grupo dominante, con una presencia del 40.000% fue Pteridophyta, integrado por 9 morfotipos, siendo el más abundante *Cyathidites minor* (14.563%). A continuación, Angiospermae Monocotyledonae alcanza el 17.864% y consta de 3 morfotipos, mayormente representados por *Monocolpites* sp. (7.184%). Gymnospermae abarca el 13.592%, con 5 morfotipos, entre los cuales el que se presenta con mayor frecuencia es *Podocarpidites otagoensis* (5.825%). Las angiospermas dicotiledóneas incluyen 7 morfotipos y representan el 6.019% de los grupos. Finalmente, los grupos más escasos son Algae, con *Botryococcus* sp. (0.583%) y Bryophyta, con *Cingtriletes* sp. (0.194%) (Tabla 2).

La proporción entre los grupos vegetales identificados la localidad de Trehualemu se expone en la Figura 9.

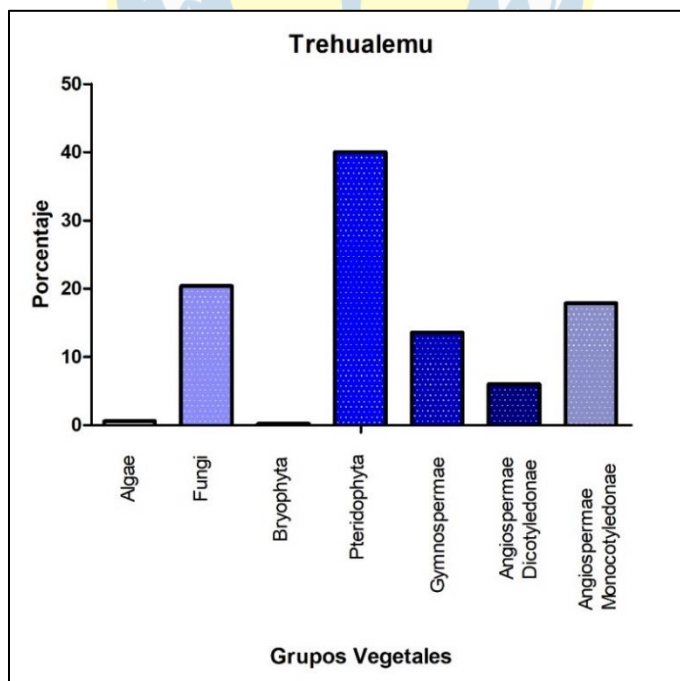


Figura 9. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Trehualemu.

Tabla 2. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Trehualemu.

TREHUALEMU	
POLENESPORAS	PORCENTAJE
<i>Botryococcus</i> sp.	0.583%
Total Algae	0.583%
<i>Exesisporites</i> sp.	0.777%
<i>Lacrimasporonites</i> sp.	1.942%
<i>Multicellaesporites</i> sp.	0.583%
<i>Unicellaesporites</i> sp.	17.087%
Total Fungi	20.388%
<i>Cingtriletes</i> sp.	0.194%
Total Bryophyta	0.194%
<i>Clavifera triplex</i>	0.194%
<i>Cyathidites australis</i>	3.689%
<i>Cyathidites concavus</i>	1.748%
<i>Cyathidites minor</i>	14.563%
<i>Gleicheniidites senonicus</i>	3.301%
<i>Laevigatosporites ovatus</i>	2.524%
<i>Laevigatosporites vulgaris</i>	1.553%
<i>Peromonolites bowenii</i>	0.583%
<i>Trilites</i> sp.	12.039%
Total Pteridophyta	40.000%
<i>Araucariacites australis</i>	0.777%
<i>Lygistepollenites florinii</i>	5.631%
<i>Podocarpidites marwickii</i>	1.165%
<i>Podocarpidites otagoensis</i>	5.825%
<i>Trisaccites</i> sp.	0.194%
Total Gymnospermae	13.592%
<i>Malvacipollis</i> sp.	0.583%
<i>Myrtaceidites eugenioides</i>	0.777%
<i>Proteacidites crassus</i>	0.388%
<i>Proteacidites</i> sp.	0.583%
<i>Psilatricolpites</i> sp.	2.136%
<i>Retitricolpites</i> sp.	1.165%
<i>Tricolpites</i> sp.	0.388%
Total Angiospermae Dicotyledonae	6.019%
<i>Liliacidites kaitangataensis</i>	4.660%
<i>Liliacidites variegatus</i>	6.019%
<i>Monocolpites</i> sp.	7.184%
Total Angiospermae Monocotyledonae	17.864%
Total indeterminados	1.359%
TOTAL	100.000%

3.4.2. Dichato Hacia Coliumo

A partir del contenido polínico, se infiere que la muestra proviene del Miembro Colico de la Formación Curanilahue, el material fue obtenido en el camino de Dichato hacia Coliumo. Se contabilizó un total de 179 palinomorfos y se registraron 19 morfotipos, de los cuales 10 fueron identificados a nivel de morfoespecie y 10 como morfogénero. El grupo predominante, con una presencia del 67.039%, fue Angiospermae Dicotyledonae, integrado por 7 morfotipos, siendo *Haloragacidites harrisii* el más abundante (50.279%) y se reporta la presencia de *Nothofagidites cranwellae*. A continuación, los grupos de Angiospermae Monocotyledonae y Pteridophyta, abarcando ambos el 9.497% del total de la muestra. Las angiospermas monocotiledóneas se componen por 3 morfotipos, de los cuales el más abundante es *Monocolpites* sp. (5.587%), y se cuenta con la presencia de *Spinizonocolpites echinatus*. Las pteridófitas engloban 3 morfotipos, siendo el más frecuente *Trilites* sp (7.263%). Fungi alcanza el 6.704% y consta de 5 morfogéneros, siendo los más abundantes *Lacrimasporites* sp. y *Multicellaesporites* sp. (2.235%), y se reporta la presencia del hongo saprófito *Exesisporites* sp. Finalmente, el grupo más escaso, con una presencia del 5.08%, corresponde a Gymnospermae, representado únicamente por *Podocarpidites otagoensis* (Tabla 3). No se contabilizaron esporas de los grupos Algae y Bryophyta.

La proporción entre los grupos vegetales identificados en el camino de Dichato hacia Coliumo se encuentra representada en la Figura 10.

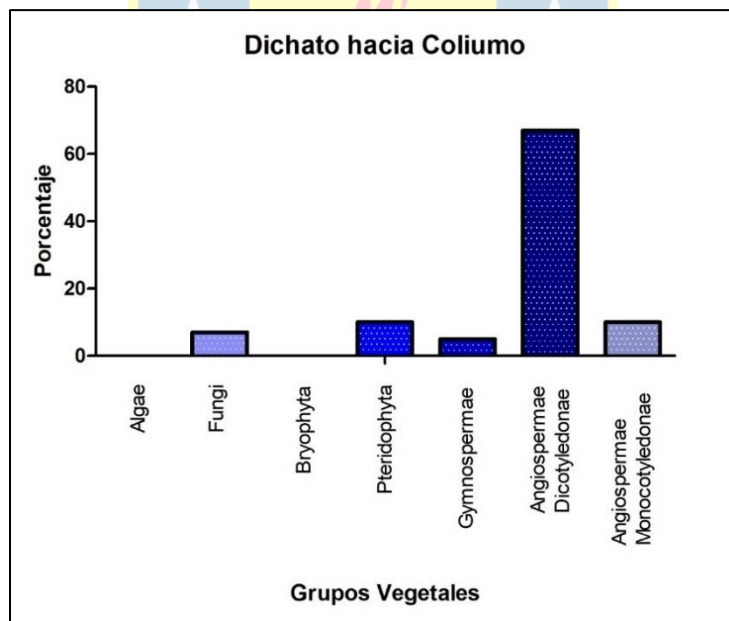


Figura 10. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en el camino de Dichato hacia Coliumo.

Tabla 3. Porcentajes de palinomorfos encontrados en camino de Dichato hacia Coliumo.

DICHATO A COLIUMO	
POLENESPORAS	PORCENTAJE
<i>Dicellaesporites</i> sp.	1.117%
<i>Exesisporites</i> sp.	0.559%
<i>Lacrimasporonites</i> sp.	2.235%
<i>Multicellaesporites</i> sp.	2.235%
<i>Unicellaesporites</i> sp.	0.559
Total Fungi	6.704%
<i>Cyathidites minor</i>	1.676%
<i>Laevigatosporites ovatus</i>	0.559%
<i>Trilites</i> sp.	7.263%
Total Pteridophyta	9.497%
<i>Podocarpidites otagoensis</i>	5.028%
Total Gymnospermae	5.028%
<i>Haloragacidites harrisii</i>	50.279%
<i>Myrtaceidites parvus</i>	1.117%
<i>Nothofagidites cranwellae</i>	0.559%
<i>Proteacidites crassus</i>	1.117%
<i>Proteacidites parvus</i>	11.173%
<i>Psilatricolpites</i> sp.	2.235%
<i>Retitricolpites</i> sp.	0.559%
Total Angiospermae Dicotyledonae	67.039%
<i>Liliacidites variegatus</i>	2.793%
<i>Monocolpites</i> sp.	5.587%
<i>Spinizonocolpites echinatus</i>	1.117%
Total Angiospermae Monocotyledonae	9.497%
Total indeterminados	2.235%
TOTAL	100.000%

3.4.3. Cocholgüe

Se analizaron dos muestras de esta localidad, pertenecen al Miembro Lota de la Formación Curanilahue. Se contabilizó un total de 374 palinomorfos y se registraron 24 morfotipos, de los cuales 13 fueron identificados a nivel de morfoespecie y 10 como morfogéneros y 1 como morfogénero conferido. El grupo dominante corresponde a Angiospermae Dicotyledonae, con una presencia del 50.267%, incluye 7 morfotipos, siendo el más abundante *Haloragacidites harrisii* (31.283%). A continuación, Pteridophyta, con un 18.449% y 8 morfotipos, entre los cuales el más frecuente es *Trilites* sp. (4.278%). Luego, Fungi alcanza el 13.520% y exhibe 4 morfotipos, siendo *Lacrimasporonites* sp. el más abundante (7.487%). Las gimnospermas están presentes en un 12.032% y están integradas por 3 morfotipos, destacando *Podocarpidites marwickii* como el de mayor frecuencia de aparición (9.358%). Finalmente, el grupo más escaso corresponde a las angiospermas monocotiledóneas, con un 10.160%. No se registraron esporas de los grupos Algae y Bryophyta (Figura 11).

La proporción entre los grupos vegetales identificados en el camino de Cocholgüe se encuentra representada en la Figura 10.

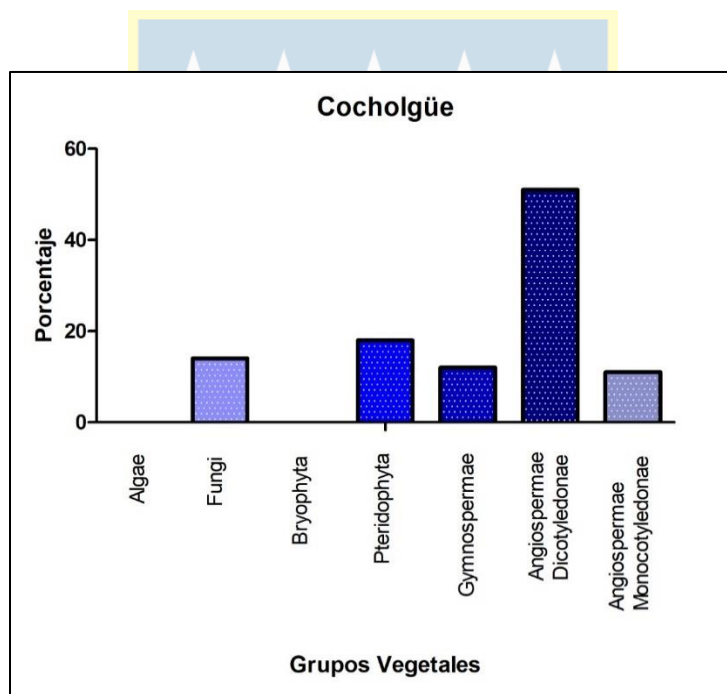


Figura 11. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Cocholgüe.

Tabla 4. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Cocholgüe.

COCHOLGÜE	
POLENESPORAS	PORCENTAJE
<i>Dicellaesporites</i> sp.	1.604%
<i>Exesisporites</i> sp.	0.802%
<i>Lacrimasporonites</i> sp.	7.487%
<i>Unicellaesporites</i> sp.	3.743%
Total Fungi	13.636%
<i>Clavifera triplex</i>	1.337%
<i>Cyathidites australis</i>	0.267%
<i>Cyathidites minor</i>	2.674%
<i>Gleicheniidites senonicus</i>	1.872%
<i>Laevigatosporites ovatus</i>	4.011%
<i>Laevigatosporites vulgaris</i>	3.743%
<i>Trilites</i> sp.	4.278%
cf. <i>Verrucosisporites</i>	0.267%
Total Pteridophyta	18.449%
<i>Araucariacites australis</i>	1.337%
<i>Podocarpidites marwickii</i>	9.358%
<i>Trisaccites</i> sp.	1.337%
Total Gymnospermae	12.032%
<i>Haloragacidites harrisii</i>	31.283%
<i>Myrtaceidites parvus</i>	9.893%
<i>Proteacidites crassus</i>	0.267%
<i>Proteacidites parvus</i>	1.872%
<i>Psilatricolpites</i> sp.	3.476%
<i>Retitricolpites</i> sp.	2.139%
<i>Tricolporites</i> sp.	1.337%
Total Angiospermae Dicotyledonae	50.267%
<i>Liliacidites variegatus</i>	2.941%
<i>Monocolpites</i> sp.	7.219%
Total Angiospermae Monocotyledonae	10.160%
Total indeterminados	4.278%
TOTAL	100.000%

3.4.4. Penco

El material colectado en la localidad de Penco pertenece al Miembro Colico de la Formación Curanilahue. Se contabilizó un total de 151 palinomorfos y se registraron 26 morfotipos, de los cuales 16 fueron identificados a nivel de morfoespecie, 9 como morfogénero y 1 como morfogénero conferido. El grupo predominante, con una presencia del 40.397%, fue Pteridophyta, integrado por 9 morfotipos, siendo *Trilites* sp. (12.583%) el más abundante. A continuación, Angiospermae Dicotyledonae, que abarca el 27.152% del total de la muestra y se compone por 8 morfotipos, de los cuales el más frecuente es *Haloragacidites harrisii* (6.623%) y se reporta la presencia de *Nothofagidites cincta*. Las gimnospermas alcanzan el 8.609% y contemplan 4 morfotipos, siendo *Araucariacites australis* el más frecuente (3.311%). Las algas representan el 9.272%, integradas por una única morfoespecie, *Botryococcus* sp. Sigue a este grupo Angiospermae Monocotyledonae, con una presencia del 7.285%, representado por dos morfotipos, entre los cuales el de mayor aparición fue *Monocolpites* sp. (3.974%). Finalmente, el grupo más escaso corresponde a Fungi con 2.649% y 2 morfogéneros, siendo el más abundante *Unicellaesporites* sp. (1.987%) (Tabla 5). No se contabilizaron esporas de briófitas.

La proporción entre los grupos vegetales identificados en la localidad de Penco se encuentra representada en la Figura 12.

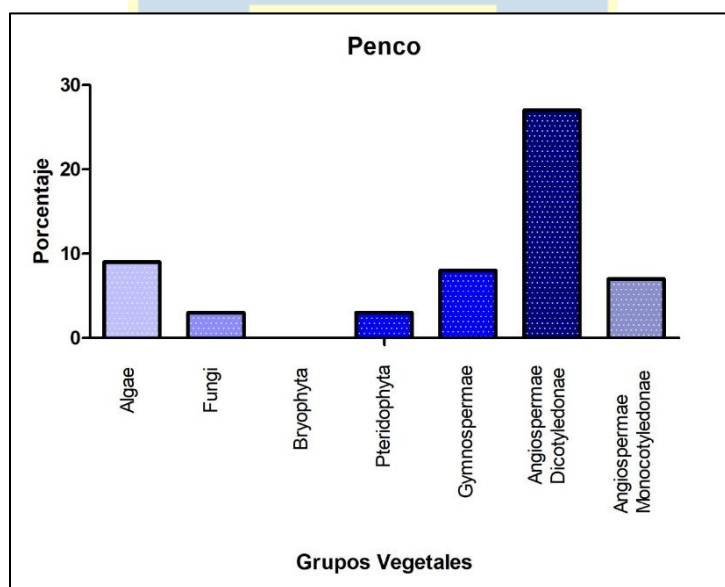


Figura 12. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Penco.

Tabla 5. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Penco.

PENCO	
POLENESPORAS	PORCENTAJE
<i>Botryococcus</i> sp.	9.272%
Total Algae	9.272%
<i>Lacrimasporonites</i> sp.	0.662%
<i>Unicellaesporites</i> sp.	1.987%
Total Fungi	2.649%
<i>Auritulinasporites scanicus</i>	1.325%
<i>Clavifera triplex</i>	8.609%
<i>Cyathidites australis</i>	3.311%
<i>Cyathidites concavus</i>	0.662%
<i>Cyathidites minor</i>	6.623%
<i>Laevigatosporites ovatus</i>	2.649%
<i>Laevigatosporites vulgaris</i>	0.662%
<i>Trilites</i> sp.	12.583%
cf. <i>Verrucosisporites</i>	3.974%
Total Pteridophyta	40.397%
<i>Araucariacites australis</i>	3.311%
<i>Bisaccites</i> sp.	1.987%
<i>Podocarpidites marwickii</i>	2.649%
<i>Trisaccites</i> sp.	0.662%
Total Gymnospermae	8.609%
<i>Haloragacidites harrisii</i>	6.623%
<i>Proteacidites crassus</i>	3.974%
<i>Proteacidites parvus</i>	5.298%
<i>Proteacidites</i> sp.	2.649%
<i>Myrtaceidites parvus</i>	1.987%
<i>Nothofagidites cincta</i>	0.662%
<i>Retitricolpites</i> sp.	3.974%
<i>Tricolpites</i> sp.	1.987%
Total Angiospermae Dicotyledonae	27.152%
<i>Liliacidites variegatus</i>	3.311%
<i>Monocolpites</i> sp.	3.974%
Total Angiospermae Monocotyledonae	7.285%
Total indeterminados	4.636%
TOTAL	100.000%

3.4.5. Lomas de Bellavista

Se analizaron dos muestras de la localidad de Lomas de Bellavista, que pertenece al Miembro Colico de la Formación Curanilahue. Se contabilizó un total de 455 palinomorfos y se registraron 26 morfotipos, de los cuales 13 se identificaron a nivel de morfoespecies, 12 como morfogéneros y 1 como morfogénero conferido. El grupo predominante, con una presencia del 44.176% es Angiospermae Dicotyledonae, integrado por 10 morfotipos, siendo el más abundante *Proteacidites parvus* (14.725%). A continuación, Fungi, con 35.824% y 4 morfogéneros, mayormente representados por *Multicellaesporites* sp. (13.187%). Sigue a este grupo Angiospermae Monocotyledonae, que abarca el 9.670%, con dos morfotipos, siendo el más frecuente *Monocolpites* sp. (6.154%). Las pteridófitas alcanzan el 5.714% y constan de 7 morfotipos, destacando *Cyathidites minor* y *Trilites* sp. como los más frecuentes (1.758%). Algae reporta una presencia del 1.099% con su único representante, *Botryococcus* sp. Finalmente, el grupo más escaso, Gymnospermae, con el 0.879%. No se contabilizaron esporas de Bryophyta (Tabla 6).

La proporción entre los grupos vegetales identificados en la localidad de Lomas de Bellavista se encuentra representada en la Figura 13.

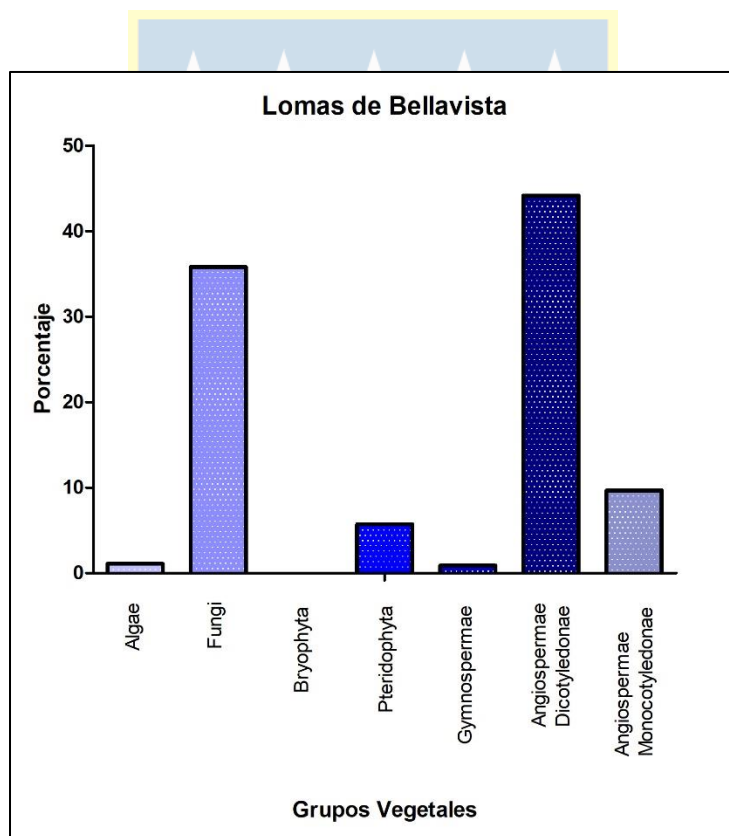


Figura 13. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Lomas de Bellavista.

Tabla 6. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Lomas de Bellavista.

LOMAS DE BELLAVISTA	
POLENESPORAS	PORCENTAJE TOTAL
<i>Botryococcus</i> sp.	1.099%
Total Algae	1.099%
<i>Dicellaesporites</i> sp.	3.956%
<i>Lacrimasporonites</i> sp.	10.989%
<i>Multicellaesporites</i> sp.	13.187%
<i>Unicellaesporites</i> sp.	7.692%
Total Fungi	35.824%
<i>Cyathidites concavus</i>	0.220%
<i>Cyathidites minor</i>	1.758%
<i>Gleicheniidites senonicus</i>	0.879%
<i>Laevigatosporites ovatus</i>	0.659%
<i>Laevigatosporites vulgaris</i>	0.220%
cf. <i>Verrucosisporites</i>	0.220%
<i>Trilites</i> sp.	1.758%
Total Pteridophyta	5.714%
<i>Bisaccites</i> sp.	0.440%
<i>Podocarpidites marwickii</i>	0.440%
Total Gymnospermae	0.879%
<i>Bombacacidites isoreticulatus</i>	0.440%
<i>Haloragacidites harrisii</i>	2.418%
<i>Myrtacidites parvus</i>	9.451%
<i>Nothofagidites cranwellae</i>	0.659%
<i>Proteacidites crassus</i>	10.769%
<i>Proteacidites parvus</i>	14.725%
<i>Proteacidites</i> sp.	0.440%
<i>Psilatricolpites</i> sp.	4.176%
<i>Retitricolpites</i> sp.	0.879%
<i>Tricolpites</i> sp.	0.440%
Total Angiospermae Dicotyledonae	44.176%
<i>Liliacidites variegatus</i>	3.516%
<i>Monocolpites</i> sp.	6.154%
Total Angiospermae Monocotyledonae	9.670%
Total indeterminados	2.637%
TOTAL	100.000%

3.4.6. Mina Schwager

El material de Mina Schwager pertenece al Manto 5 del Miembro Lota de la Formación Curanilahue y proviene un sondaje realizado a 144 m de profundidad. En la muestra, se contabilizó un total de 168 palinomorfos y se identificaron 24 morfotipos, de los cuales 12 fueron identificados a nivel de morfoespecie y 12 como morfogéneros. El grupo predominante, con una presencia del 66.071% fue Angiospermae Dicotyledonae, que incluye 5 morfotipos, siendo el más abundante *Haloragacidites harrisii* (61.905%). Sigue a este grupo Fungi, con un 14.286%, compuesto por 5 morfogéneros, mayormente representados por *Unicellaesporites* sp. (7.143%) y se incluye la presencia del hongo saprófito *Exesisporites* sp., pero en baja frecuencia (0.595%). Gymnospermae y Angiospermae Monocotyledonae se encuentran ambos en un 6.548%, se destaca en el primer grupo la presencia de *Podocarpidites marwickii* (3.571%) y en el segundo, *Spinizonocolpites echinatus* (2.976%). Finalmente, el grupo más escaso corresponde a Pteridophyta, con un 5.952% del total, siendo las morfoespecies más abundantes *Laevigatosporites ovatus* y *Peromonolites bowenii* (Tabla 7). No se registraron polenesporas pertenecientes a los grupos Algae y Bryophyta.

La proporción entre los grupos vegetales identificados la localidad de Mina Schwager se encuentra representada en la Figura 14.

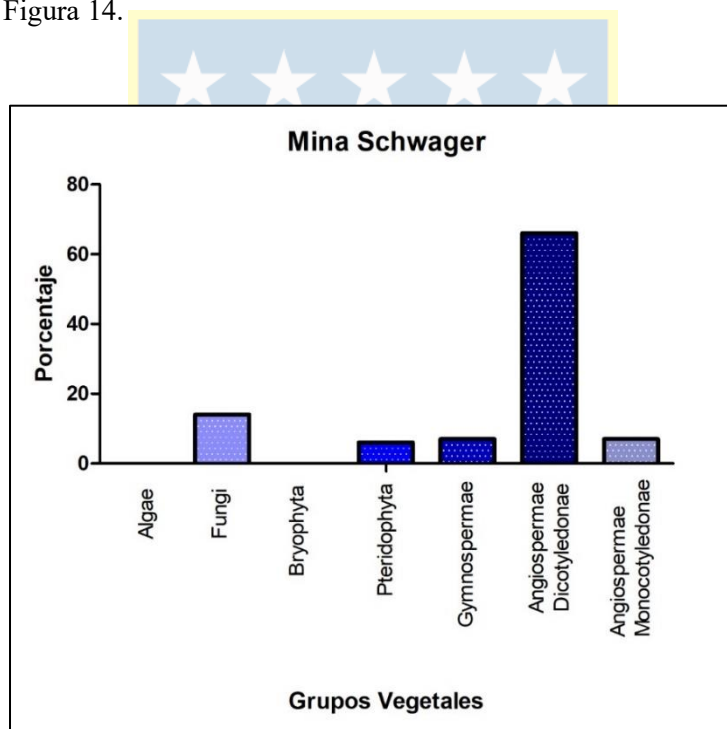


Figura 14. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Mina Schwager.

Tabla 7. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Mina Schwager.

MINA SCHWAGER	
POLENESPORAS	PORCENTAJE
<i>Dicellaesporites</i> sp.	1.190%
<i>Exesisporites</i> sp.	0.595%
<i>Lacrimasporonites</i> sp.	4.762%
<i>Multicellaesporites</i> sp.	0.595%
<i>Unicellaesporites</i> sp.	7.143%
Total Fungi	14.286%
<i>Cyathidites australis</i>	0.595%
<i>Cyathidites minor</i>	1.786%
<i>Laevigatosporites ovatus</i>	1.190%
<i>Laevigatosporites vulgaris</i>	0.595%
<i>Peromonolites bowenii</i>	1.190%
<i>Trilites</i> sp.	0.595%
Total Pteridophyta	5.952%
<i>Bisaccites</i> sp.	0.595%
<i>Podocarpidites marwickii</i>	3.571%
<i>Podocarpidites otagoensis</i>	1.786%
<i>Trisaccites</i> sp.	0.595%
Total Gimnospermae	6.548%
<i>Haloragacidites harrisii</i>	61.905%
<i>Myrtaceidites parvus</i>	0.595%
<i>Psilatricolpites</i> sp.	1.190%
<i>Retitricolpites</i> sp.	1.786%
<i>Tricolpites</i> sp.	0.595%
Total Angiospermae Dicotyledonae	66.071%
<i>Liliacidites kaitangataensis</i>	1.190%
<i>Liliacidites variegatus</i>	1.786%
<i>Monocolpites</i> sp.	0.595%
<i>Spinizonocolpites echinatus</i>	2.976%
Total Angiospermae Monocotyledonae	6.548%
Total indeterminados	0.595%
TOTAL	100.000%

3.4.7. Distrito Laraquete de Mina Lota

Se analizaron dos muestras de la localidad Distrito Laraquete de Mina Lota, las cuales provienen del Manto 4 del Miembro Lota de la Formación Curanilahue. Se contabilizó un total de 337 palinomorfos y se registraron 23 morfotipos, de los cuales 14 se identificaron a nivel de morfoespecie y 9 como morfogéneros. El grupo dominante, con una presencia del 39.466%, fue Fungi, que incluye 4 morfotipos, siendo *Unicellaesporites* sp. (21.365%) el más abundante. A continuación, el grupo Pteridophyta, con un 29.674%, integrado por 7 morfotipos, mayormente representados por *Trilites* sp. (10.682%). Angiospermae Dicotyledonae consta de 3 morfotipos de polen, alcanzando un 23.145% del total de la muestra, y se destaca la presencia de *Haloragacidites harrisii* (21.958%). Las angiospermas monocotiledóneas están presentes en un 2.671%, reportando a *Spinizonocolpites echinatus* como el palinomorfo de mayor frecuencia de este grupo (1.780%). Finalmente, Bryophyta y Gymnospermae fueron los grupos más escasos, ambos con 1.780% y las morfoespecies más abundantes corresponden a *Stereisporites antiquasporites* y *Podocarpidites marwickii*, respectivamente. No se registraron esporas del grupo Algae (Tabla 8).

La proporción entre los grupos vegetales identificados la localidad de Distrito Laraquete de Mina Lota se encuentra representada en la Figura 15.

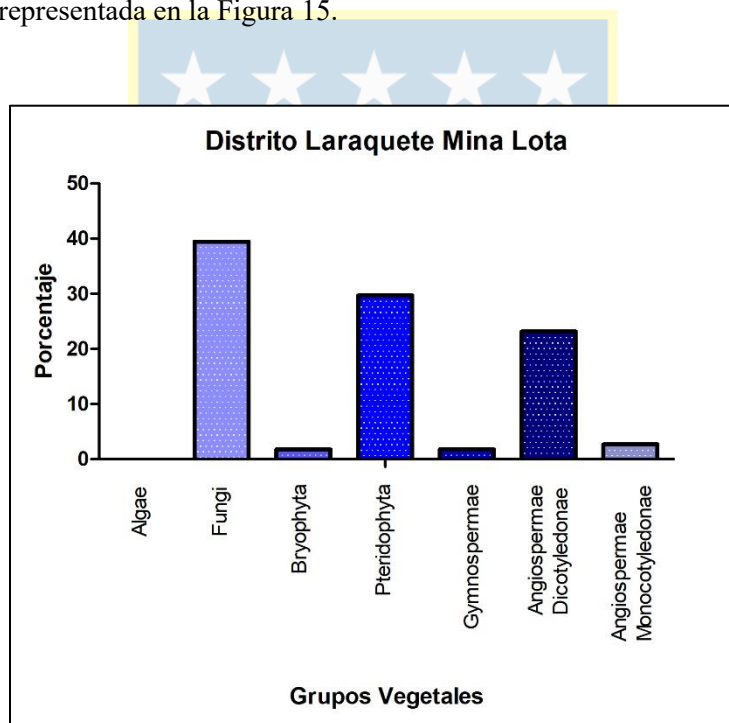


Figura 15. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Distrito Laraquete de Mina Lota.

Tabla 8. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Distrito Laraquete en Mina Lota.

DISTRITO LARAQUETE DE MINA LOTA	
POLENESPORAS	PORCENTAJE
<i>Dicellaesporites</i> sp.	2.374%
<i>Lacrimasporonites</i> sp.	4.154%
<i>Multicellaesporites</i> sp.	11.573%
<i>Unicellaesporites</i> sp.	21.365%
Total Fungi	39.466%
<i>Stereisporites antiquasporites</i>	1.780%
Total Bryophyta	1.780%
<i>Clavifera triplex</i>	8.309%
<i>Cyathidites minor</i>	3.858%
<i>Gleicheniidites senonicus</i>	0.297%
<i>Laevigatosporites ovatus</i>	1.780%
<i>Laevigatosporites vulgaris</i>	4.451%
<i>Peromonolites bowenii</i>	0.297%
<i>Trilites</i> sp.	10.682%
Total Pteridophyta	29.674%
<i>Araucariacites australis</i>	0.297%
<i>Bisaccites</i> sp.	0.297%
<i>Podocarpidites marwickii</i>	0.890%
<i>Podocarpidites otagoensis</i>	0.297%
Total Gymnospermae	1.780%
<i>Haloragacidites harrisii</i>	21.958%
<i>Proteacidites parvus</i>	0.890%
<i>Retitricolpites</i> sp.	0.297%
Total Angiospermae Dicotyledonae	23.145%
<i>Liliacidites kaitangataensis</i>	0.297%
<i>Liliacidites variegatus</i>	0.297%
<i>Monocolpites</i> sp.	0.297%
<i>Spinizonocolpites echinatus</i>	1.780%
Total Angiospermae Monocotyledonae	2.671%
Total Indeterminados	1.484%
TOTAL	100.000%

3.4.8. Mina Trongol

Se analizaron siete muestras de la localidad de Mina Trongol, procedentes del Miembro Colico de la Formación Curanilahue, de éstas, 4 provienen del Manto Alto y 2 del Manto Doble. En el Manto Alto, el grupo vegetal predominante es Fungi y en el Manto Doble, Pteridophyta y Angiospermae Dicotyledonae. Se contabilizó un total de 853 palinomorfos y se registraron 30 morfotipos, de los cuales 17 fueron identificados a nivel de morfoespecie y 13 como morfogéneros. El grupo dominante, con una presencia del 33.880%, fue Pteridophyta, que incluye 8 morfogéneros, siendo el más abundante *Trilites* sp. (12.544%). A continuación, Fungi, con una presencia del 30.229%, integrado por 5 morfotipos, mayormente representados por *Unicellaesporites* sp. (18.523%). Angiospermae Dicotyledonae consta de 8 morfotipos de palinomorfos, alcanzando un 25.322% del total, y se destaca la presencia de *Haloragacidites harrisii* como el más abundante (16.530%). Las monocotiledóneas representan un 6.800% y están conformadas por 4 morfotipos, entre estos, *Liliacidites variegatus* registró la frecuencia más alta (3.517%). Las gimnospermas abarcan el 1.758%, con 3 morfotipos, de los cuales *Podocarpidites otagoensis* es el más abundante (0.703%). Finalmente, los grupos menos comunes corresponden a Algae y Bryophyta, alcanzando tan solo el 0.117% (Tabla 9).

La proporción entre los grupos vegetales identificados en la localidad de Mina Trongol se encuentra representada en la Figura 16.

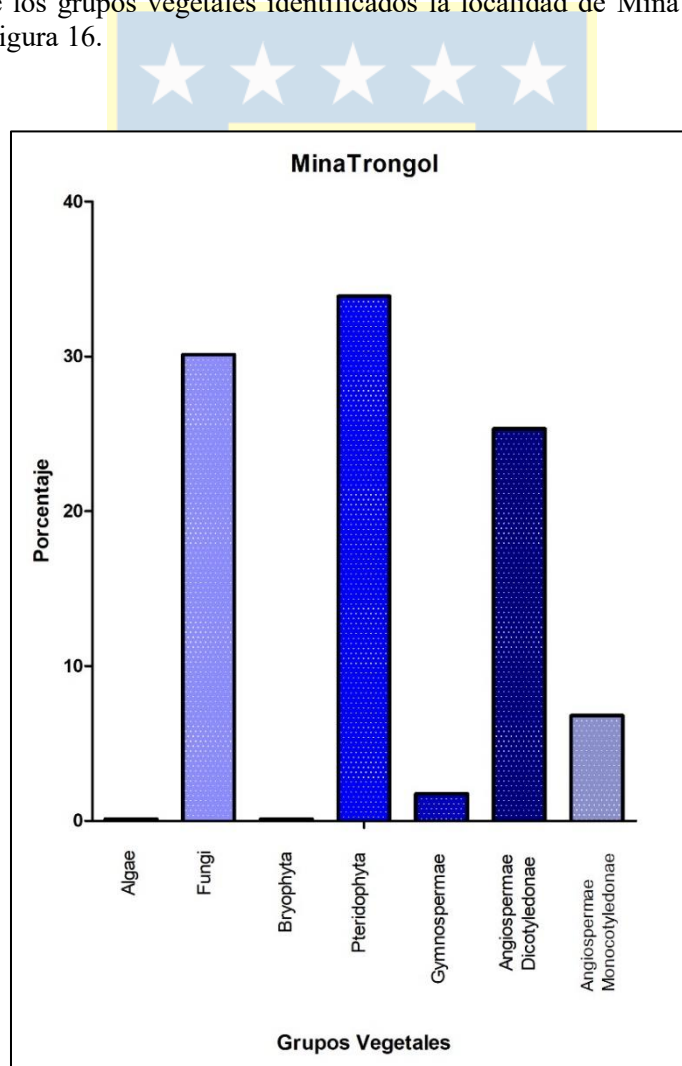


Figura 16. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados en Mina Trongol.

Tabla 9. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Mina Trongol.

MINA TRONGOL	
POLENESPORAS	PORCENTAJE
<i>Botryococcus</i> sp.	0.117%
Total Algae	0.117%
<i>Dicellaesporites</i> sp.	1.290%
<i>Exesisporites</i> sp.	2.345%
<i>Lacrimasporonites</i> sp.	5.393%
<i>Multicellaesporites</i> sp.	2.579%
<i>Unicellaesporites</i> sp.	18.523%
Total Fungi	30.129%
<i>Cingutritetes</i> sp.	0.117%
Total Bryophyta	0.117%
<i>Clavifera triplex</i>	6.682%
<i>Cyathidites australis</i>	0.117%
<i>Cyathidites minor</i>	5.744%
<i>Gleicheniidites senonicus</i>	5.744%
<i>Laevigatosporites ovatus</i>	1.055%
<i>Laevigatosporites vulgaris</i>	0.352%
<i>Peromonolites bowenii</i>	1.641%
<i>Trilites</i> sp.	12.544%
Total Pteridophyta	33.880%
<i>Bisaccites</i> sp.	0.469%
<i>Podocarpidites marwickii</i>	0.586%
<i>Podocarpidites otagoensis</i>	0.703%
Total Gymnospermae	1.758%
<i>Haloragacidites harrisii</i>	16.530%
<i>Myrtaceidites eugenioides</i>	0.117%
<i>Myrtaceidites parvus</i>	1.524%
<i>Proteacidites crassus</i>	0.117%
<i>Proteacidites parvus</i>	5.275%
<i>Psilatricolpites</i> sp.	1.055%
<i>Retitricolpites</i> sp.	0.586%
<i>Tricolpites</i> sp.	0.117%
Total Angiospermae Dicotyledonae	25.322%
<i>Liliacidites kaitangataensis</i>	0.938%
<i>Liliacidites variegatus</i>	3.517%
<i>Monocolpites</i> sp.	0.703%
<i>Spinizonocolpites echinatus</i>	1.641%
Total Angiospermae Monocotyledonae	6.800%
Total indeterminados	1.876%
Total	100.000%

3.4.9. Río Pilpilco.

E material colectado a orillas del río Pilpilco, proviene del Manto Chiflón de la Formación Trihuaco. Se contabilizó un total de 153 palinomorfos y se registraron 18 morfotipos, de los cuales 12 fueron identificados a nivel de morfoespecie y 6 como morfogéneros. El grupo predominante, con una presencia del 35.948% fue Fungi, que incluye 4 morfotipos, siendo el más abundante *Unicellaesporites* sp., y se reporta la presencia del hongo saprófito *Exesisporites* sp. A continuación, Angiospermae Dicotyledonae, con 30.065% y 3 morfotipos, mayormente representados por *Haloragacidites harrisii* (28.105%), el palinomorfo de mayor frecuencia en el total de la muestra. Pteridophyta alcanza el 24.183% y consta de 7 morfotipos, destacando *Trilites* sp. como el más abundante del grupo. Las angiospermas monocotiledóneas abarcan el 7.843%, representadas por 3 palinoespecies, entre las cuales *Spinizonocolpites echinatus* es la más frecuente (5,882%). Finalmente, el grupo más escaso, con 0.654% fue Gymnospermae, que incluye solo la morfoespecie *Podocarpidites otagoensis* (Tabla 10). No se registraron esporas de los grupos Algae y Bryophyta.

La proporción entre los grupos vegetales identificados en la localidad de Río Pilpilco se encuentra representada en la Figura 17.

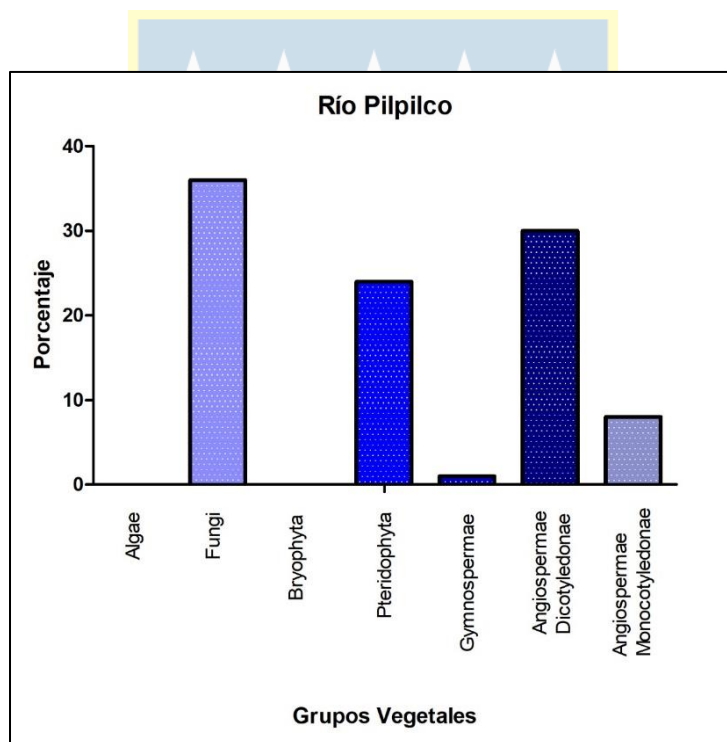


Figura 17. Comparación del porcentaje de los principales grupos vegetales encontrados a orillas del río Pilpilco.

Tabla 13. Porcentajes de palinomorfos encontrados en Río Pilpilco.

RÍO PILPILCO	
POLENESPORAS	PORCENTAJE
<i>Exesisporites</i> sp.	5.229%
<i>Lacrimasporonites</i> sp.	7.843%
<i>Multicellaesporites</i> sp.	1.961%
<i>Unicellaesporites</i> sp.	20.915%
Total Fungi	35.948%
<i>Cyathidites australis</i>	4.575%
<i>Cyathidites concavus</i>	0.654%
<i>Cyathidites minor</i>	4.575%
<i>Gleicheniidites senonicus</i>	3.922%
<i>Laevigatosporites ovatus</i>	1.307%
<i>Laevigatosporites vulgaris</i>	0.654%
<i>Trilites</i> sp.	8.497%
Total Pteridophyta	24.183%
<i>Podocarpidites otagoensis</i>	0.654%
Total Gymnospermae	0.654%
<i>Haloragacidites harrisii</i>	28.105%
<i>Proteacidites parvus</i>	0.654%
<i>Retitricolpites</i> sp.	1.307%
Total Angiospermae Dicotyledonae	30.065%
<i>Liliacidites kaitangataensis</i>	0.654%
<i>Liliacidites variegatus</i>	1.307%
<i>Spinizonocolpites echinatus</i>	5.882%
Total Angiospermae Monocotyledonae	7.843%
Total indeterminados	1.307%
TOTAL	100.000%

La Tabla 23 expone los porcentajes totales en que cada grupo vegetal se presenta en las localidades contempladas en el análisis palinológico, permitiendo comparar la composición de la vegetación entre diferentes localidades.

Tabla 23. Porcentajes totales de los grupos vegetales en las localidades contempladas en el análisis palinológico.

LOCALIDAD	GRUPOS VEGETALES						
	ALGAE	FUNGI	BRYOPHYTA	PTERIDOPHYTA	GYMNOSPERMAE	ANGIOSPERMAE DICOTYLEDONAE	ANGIOSPERMAE MONOCOTYLEDONAE
Mina Schwager	0.000%	14.286%	0.00%	5.952%	6.548%	66.071%	6.548%
Distrito Laraquete Mina Lota	0.000%	39.466%	1.780%	26.674%	1.780%	23.145%	2.671%
Mina Trongol	0.117%	30.129%	0.117%	33.880%	1.758%	25.322%	6.800%
Río Pilpilco	0.000%	35.948%	0.000%	24.183%	0.654%	30.065%	7.843%
Trehualemu	0.588%	20.388%	0.194%	40.000%	13.592%	6.019%	17.864%
Lomas de Bellavista	1.099%	35.824%	0.000%	5.714%	0.823%	44.176%	9.670%
Dichato a Coliumo	0.000%	6.704%	0.000%	9.497%	5.028%	67.039%	9.497%
Cocholgüe	0.000%	13.743%	0.000%	18.449%	12.032%	50.267%	10.160%
Penco	9.272%	2.649%	0.000%	2.649%	8.609%	27.152%	7.285%

3.5. PALINOMORFOS INDICADORES DE AMBIENTE Y CONDICIONES DEL SUSTRATO

3.5.1. *Haloragacidites harrisii*

La morfoespecie de angiosperma dicotiledónea *Haloragacidites harrisii* presenta una afinidad botánica con *Canacomyricea*, un género endémico de Nueva Caledonia (Sundberg, 1977; Troncoso & Barrera, 1980; Palma-Heldt, 1980a,b; Palma-Heldt & Quinzio, 2006). Esta relación se basa en la similitud de características en la morfología de los granos de polen.

Canacomyricea es un género monotípico de la familia Myriaceae, que se compone de cuatro géneros y de 20 a 50 especies de distribución subcosmopolita, en su mayoría en regiones de clima templado y subtropical (Sundberg, 1977). La familia Myriaceae es antigua, con registros de polen dados del Cretácico Superior y los más abundantes del Paleoceno (González-Villarreal, 2004), su conexión con los fósiles en muestras del Paleógeno, Neógeno y del Cuaternario ha sido ampliamente estudiada (Punt *et al.*, 2022). Sus restos dejan en evidencia que los miembros de esta familia fueron más numerosos en el pasado y con más amplia distribución geográfica que en la actualidad (González-Villarreal, 2004).

La presencia de *Haloragacidites harrisii* indica la prevalencia de un clima subtropical húmedo (Palma-Heldt, 1980a,b; Palma-Heldt & Quinzio, 2006), lo cual se infiere a través de las preferencias ecológicas y la distribución actual de los representantes modernos de *Canacomyricea monticola*, la única especie del género.

C. monticola es un árbol pequeño o arbusto perennifolio, con hojas coriáceas, flores en espigas y frutos drupáceos (Herbert, 2006). Su estado de conservación según los criterios IUCN es de casi amenazado (Veillon *et al.*, 2020). Encuentra su hábitat en Nueva Caledonia, una colectividad territorial francesa conformada por un grupo de islas de Oceanía que se ubica entre el mar del Coral y el océano Pacífico Sur. La isla principal, Grande Terre, cuenta con un 74-75% endemismo en plantas vasculares (Jaffré *et al.*, 2001). La combinación de un alto endemismo y la presencia de taxones relictos han conferido a Nueva Caledonia el reconocimiento como una región fitogeográfica distinta (Takhajan, 1986). *Canacomyricea* se desarrolla al sur de Grande Terre, exclusivamente en sustratos ultramáficos (Herbert, 2006) que por lo general presentan baja disponibilidad de nutrientes y altas concentraciones de magnesio y metales pesados (Brooks, 1987). El clima en las islas es tropical, caliente y húmedo modificado por los vientos alisios del sudeste (Oratlas, 2017). La temperatura media anual de Nueva Caledonia es de 27°C, pero tiene pocos meses verdaderamente tropicales y bochornosos. La estación meteorológica de Koumac informó en 2020 la temperatura récord de 36,0°C (DatosMundial.com, s.f.).

En la Región del Biobío, el palinomorfo *Haloragacidites harrisii* está presente en los mantos carboníferos de la Formación Curanilahue, abarcando hasta el 85% de frecuencia y baja paulatinamente al alcanzar a los mantos más recientes de la Formación Trihuco.

El palinomorfo *Haloragacidites harrisii* fue registrado en 8 de las localidades estudiadas en la cuenca de Arauco, Lomas de Bellavista (2.48%), Penco (6.623%), Cocholgue (10.195%), Mina Trongol (14.202%), Distrito Laraquete de Mina Lota (21.958%), Río Pilpilco (28.105%), Dichato hacia Coliumo (50.279%) y, en mayor porcentaje, Mina Schwager (61.905%) (Figura 19). Consecuentemente, esta morfoespecie estaría presente en los miembros Lota y Colico de la Formación Curanilahue, y en la Formación Trihuco.

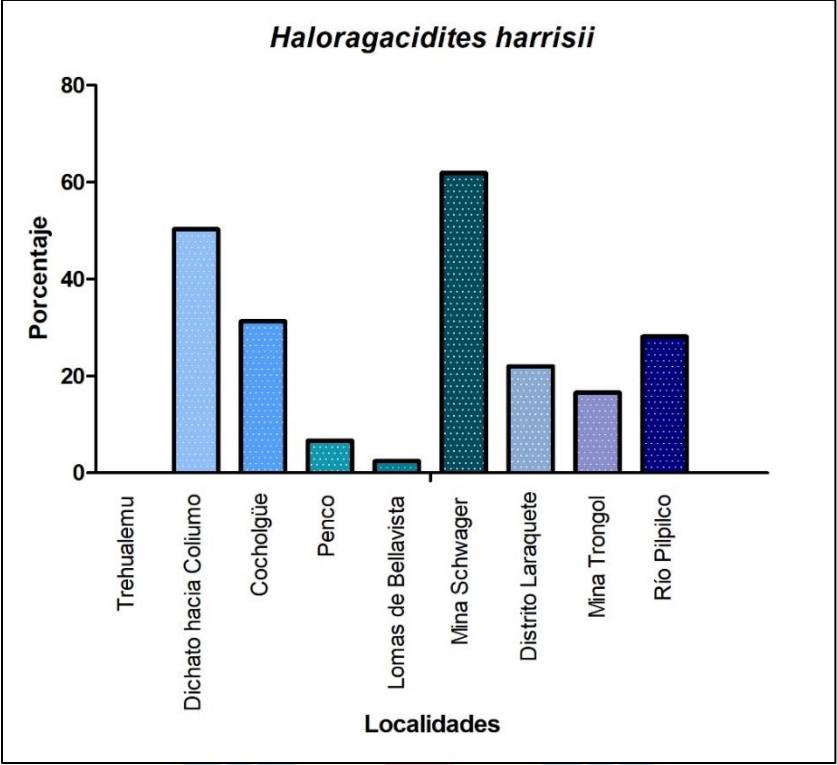
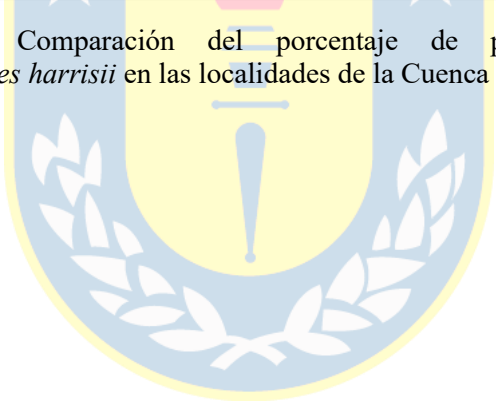


Figura 18. Comparación del porcentaje de presencia de *Haloragacidites harrisii* en las localidades de la Cuenca de Arauco.



3.5.2. *Spinizonocolpites echinatus*

La morfoespecie de angiosperma monocotiledónea *Spinizonocolpites echinatus* tiene como afinidad botánica actual al género monotípico *Nypa* (Collao *et al.*, 1987; El Beialy, 1998; Palma-Heldt & Quinzio, 2006; Pocknall *et al.*, 2023), cuya única especie es la palmera *Nypa fructicans* (Dowe, 2010), originaria de Sri Lanka hasta el delta del Ganges en la India, hacia el este hasta Ryukyu y las Islas Salomón, en la región de Indo-Australasia. Además, se extiende por el norte de Australia y a lo largo de la península del Cabo York (More, 1973), donde habita en estuarios. *Nypa* se encuentra ampliamente distribuida en los manglares neotropicales (Palma-Heldt & Quinzio, 2006), en asociación con otros taxones de manglares en ambientes estuarinos o costeros, formando parte de comunidades de plantas adaptadas a tolerar aguas salinas. Crece bien en aguas fangosas, de mareas lentas o de ríos que suministran a la planta los nutrientes necesarios y agua fresca para lavar periódicamente sus raíces, por lo que se desarrolla favorablemente en zonas donde las lluvias y las inundaciones son frecuentes (Pocknall *et al.*, 2023).

El polen afín a *Nypa* se reconoce en el registro fósil de todo el mundo, con un rango temporal que va desde el Cretácico Superior (especialmente en el norte de Sudamérica y la India) y amplía su distribución en el Eoceno medio antes de contraerse a su área de distribución actual en la región indo-australiana (Gee, 2001) con el inicio del enfriamiento global (Figura 20). En palinología, permite identificar ambientes deposicionales costeros, pues su presencia proporciona una indicación de costas antiguas y fluctuaciones del nivel del mar a lo largo del tiempo (Pocknall *et al.*, 2023) y ambientes de manglar (Collao *et al.*, 1987; Palma-Heldt & Quinzio, 2006) con temperaturas tropicales. Además, es posible que el polen de *Nypa* no se transporte lejos de su sitio de deposición (Chaloner, 1968), por lo que grandes cantidades representarían una deposición muy local.

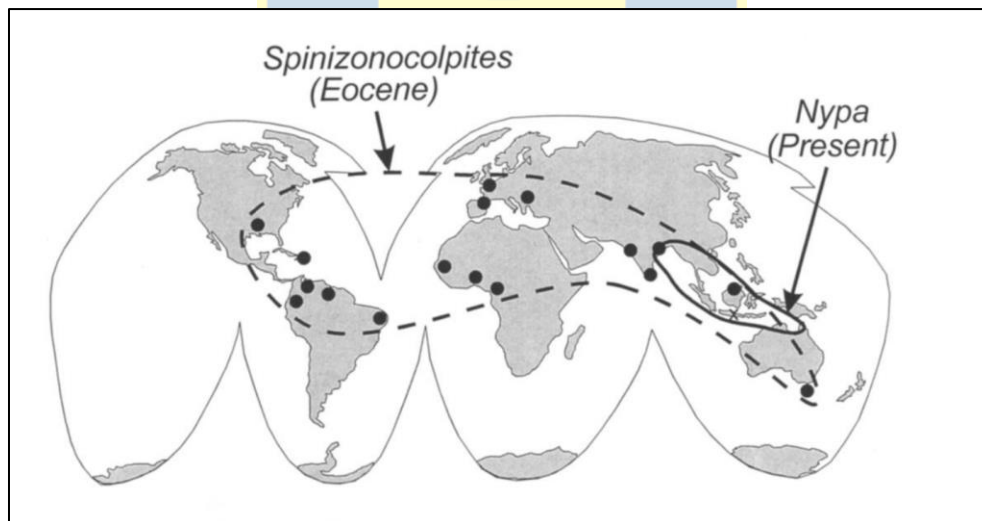


Figura 19. Mapa de la distribución geográfica actual (línea continua) y durante el Eoceno (círculos negros, línea punteada) de *Nypa* y su polen fósil, *Spinizonocolpites* spp, realizado por Rull (1998).

En la Cuenca de Arauco, *Spinizonocolpites echinatus* se observa en alta frecuencia en secuencias portadoras de carbón asignadas al Paleógeno inferior (Palma-Heldt & Quinzio, 2006), indicando un ambiente de pantano costero con vegetación de tipo manglar.

El palinomorfo *Spinizonocolpites echinatus* fue registrado en 5 de las localidades estudiadas en la Cuenca de Arauco, Dichato hacia Coliumo (1.117%), Mina Trongol (1.641%), Distrito Laraquete de Mina Lota (1.780%), Mina Schwager (2.976%) y, en mayor porcentaje, Río Pilpilco (5.882%) (Figura 20). Consecuentemente, esta morfoespecie estaría presente en los miembros Lota y Colico de la Formación Curanilahue, y en la Formación Trihueco.

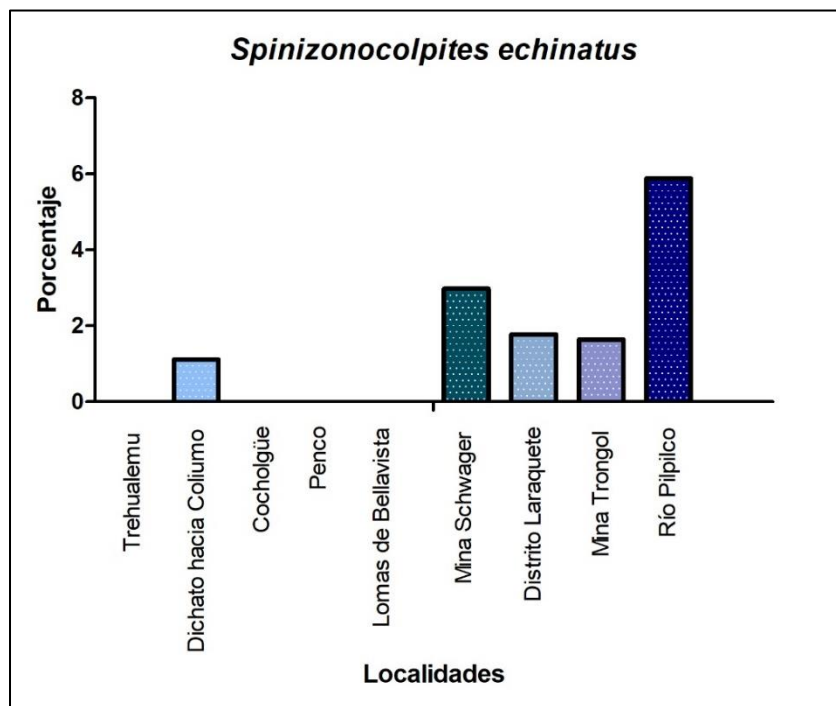


Figura 20. Comparación del porcentaje de presencia de *Spinizonocolpites echinatus* en las localidades de la Cuenca de Arauco.

3.5.3. *Botryococcus* sp.

Las preferencias paleoecológicas de representantes fósiles de *Botryococcus* pueden inferirse con la ecología del género actual y por su distribución (Zippi, 1998). *Botryococcus* es un alga clorofícea de aguas continentales (Smith, 1920; Fritsch, 1961), plantónica, bentónica adherida o epífita sobre plantas sumergidas (Komárek & Fott, 1983), su distribución es cosmopolita y forma parte del fitoplancton de lagos, estanques (Belocher, 1968) y lagunas con alcalinidad elevada (Lee, 1999), siendo abundante, además, en aguas superficiales oligotróficas (Cole & Crittenden, 1997), es decir, aguas claras en que la luz penetra con facilidad y hay oxígeno en abundancia. Se desarrolla en zonas tropicales y templadas (Ozawa, 2018), llegando a tolerar climas estacionalmente fríos (Batten & Grenfell, 1996). Esta alga no se reproduce en salinidades próximas a las marinas normales y su tasa de crecimiento se reduce dramáticamente bajo condiciones de estrés salino (Zippi, 1998).

Los fósiles de *Botryococcus* se encuentran mayoritariamente en sedimentos no marinos o con una fuente cercana de agua fresca. En abundancias moderadas o en asociación con otros indicadores terrestres o dulceacuícolas, *Botryococcus* es un indicador convincente de paleoambientes de aguas continentales (Zippi, 1998). La presencia de *Botryococcus*, aún en bajas proporciones puede revelar, por ejemplo, la presencia de un cuerpo de agua no estratificado y de poca profundidad (Borel *et al.*, 2003).

Ejemplares del género *Botryococcus* fueron registrados en 4 de las localidades estudiadas en la Cuenca de Arauco, Mina Trongol (0.117%) Trehualem (0.487%), Lomas de Bellavista (1.006%) y, en mayor porcentaje, Penco (9.272%) (Figura 21). Así, este morfogénero estaría presente en el Miembro Colico de la Formación Curanilahue.

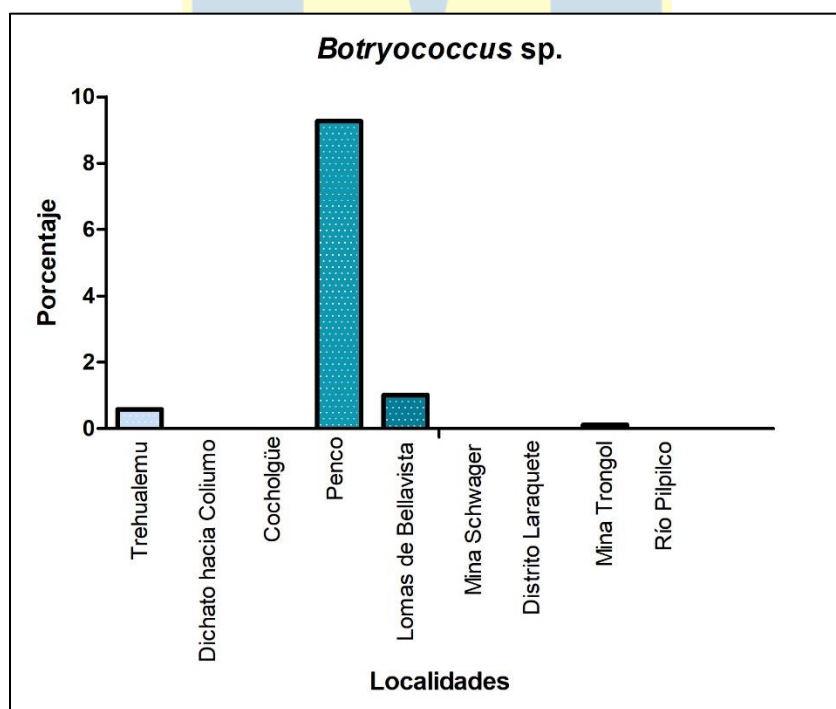


Figura 21. Comparación del porcentaje de presencia de *Botryococcus* sp. en las localidades de la Cuenca de Arauco.

3.5.4. *Exesisporites* sp.

La espora *Exesisporites* sp. encuentra su afinidad botánica actual en el reino Fungi, formando parte en el grupo informal Deuteromycetes (hongos imperfectos) (Palma-Heldt *et al.*, 1998). Los deuteromicetes son organismos saprófitos oportunistas que viven sobre materia orgánica en descomposición, tales como restos orgánicos de la degradación de plantas y animales que contiene el suelo (Carranza, 2006). En el ambiente natural, contribuyen a la biodegradación y reciclaje de materia orgánica (Kiffer & Morelet, 2009).

En palinología, la presencia de hongos indica ambientes húmedos y sombríos (S. Palma-Heldt, com. pers. 2020). La especie tipo de este morfógeno, *Exesisporites neogenicus* Elsik, es una forma común en estratos depositados durante los intervalos cálidos del Pleistoceno (Quattrocchio *et al.*, 2003).

Representantes del morfógeno *Exesisporites* fueron registrados en 5 de localidades estudiadas en la Cuenca de Arauco, Dichato hacia Coliumo (0.559%), Trehualemu (0.948%), Mina Trongol (3.641%), Cocholgüe (2.059%), Mina Trongol (3.641%) y, en mayor porcentaje, Río Pilpilco (5.229%) (Figura 23). Así, este morfotipo está presente en los miembros Lota y Colico de la Formación Curanilahue y en la Formación Trihueco.

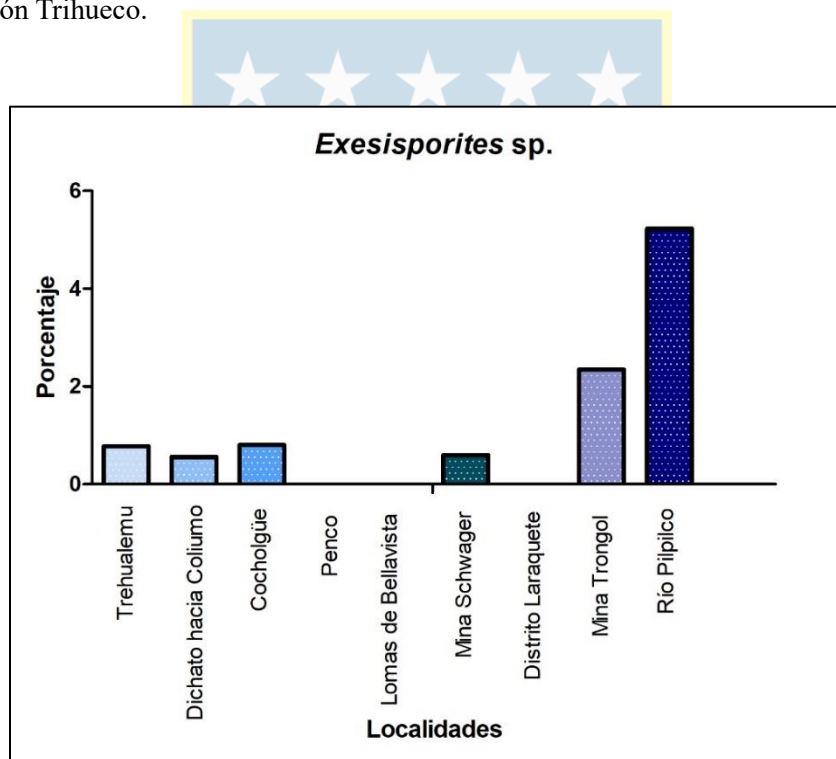


Figura 22. Comparación del porcentaje de presencia de *Botryococcus* sp. en las localidades de la Cuenca de Arauco.

3.5.5. *Nothofagidites* sp.

Los palinomorfos del morfogénero *Nothofagidites* sp. tienen su afinidad botánica actual en el género *Nothofagus* (Romero & Zamalao, 1997; Carrillo, 2013), que está formado por plantas leñosas, micorrícicas, con baja capacidad de dispersión y poca viabilidad de sus semillas (Ramírez, 1987).

Nothofagus exhibe una distribución geográfica restringida, concentrándose principalmente en las regiones templadas meridionales del sur de Chile, el sureste de Australia y Tasmania, así como en áreas más frías como el extremo sur de Sudamérica y la selva tropical montana de Nueva Guinea y Nueva Caledonia (Tanai, 1986; Romero & Zamalao, 1997). Además, se destaca como uno de los componentes principales de los bosques subantárticos modernos (Romero, 1978; Palma-Heldt et al., 2009), y su presencia en la naturaleza se correlaciona de manera general con la distribución de numerosas especies vegetales y animales terrestres que habitan en las regiones templadas-frías del hemisferio sur (Tanai, 1986). Su representante fósil, *Nothofagidites*, se encuentra documentado en sedimentos de Antártica, Australasia y Sudamérica desde el Cretácico Superior (Romero & Zamalao, 1997) (Figura 24). Sin embargo, experimenta un desarrollo explosivo a partir del Eoceno (Archangelsky & Romero, 1974).

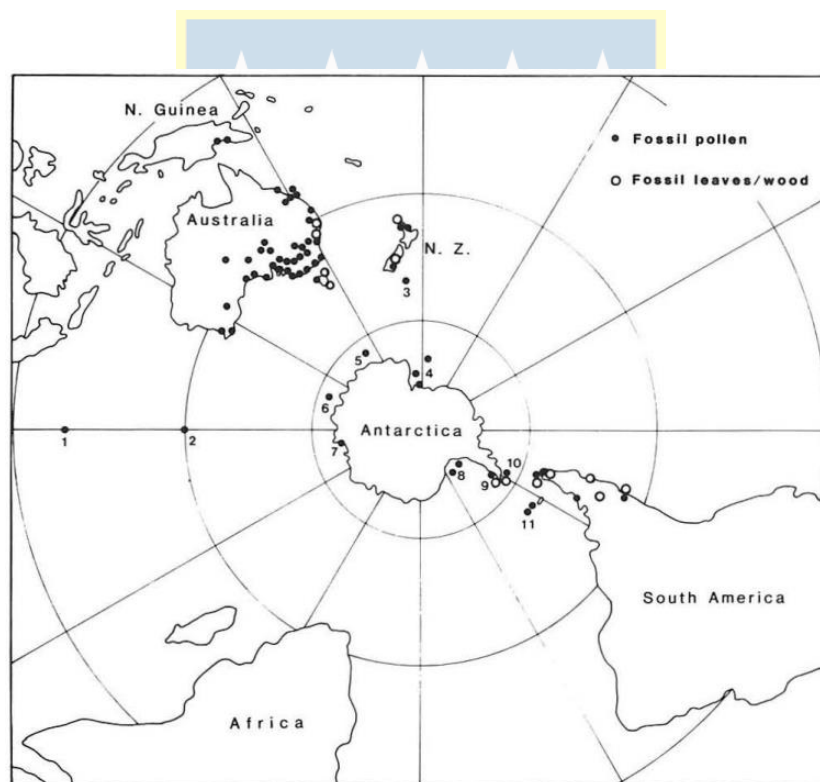


Figura 23. Distribución de fósiles de *Nothofagus* en el hemisferio sur, basado en polen, improntas de hojas y madera, realizado por Tanai (1986).

La familia Nothofagaceae se asocia a zonas de alta humedad (Herngreen *et al.*, 1996) y en palinología se han utilizado para indicar condiciones de clima templado a templado frío y humedad alta (Romero, 1978; Quattrocchio & Volkheimer, 2000; Hidalgo *et al.*, 2003; Palma-Heldt *et al.*, 2009). Los requerimientos ecológicos del morfogénero *Nothofagidites* se pueden inferir por el tipo de grano de polen que lo representa. El polen tipo *brasii*, como *Nothofagidites cranwellae*, se relaciona con climas

templado-cálidos (mesotermiales) y zonas más bajas en comparación al tipo *fusca*, como *Nothofagidites cincta*, que requiere de suelos bien drenados y generalmente se encuentra en zonas más altas y de menores temperaturas. La afinidad botánica de *Nothofagidites cincta* es *Nothofagus betuloides* (Palma-Heldt, 1983), que se desarrolla en los bosques del sur de Chile y Argentina (Romero, 1978) y es un elemento dominante en el bosque magallánico perennifolio. Por otro lado, el polen del grupo *brasii* actualmente se restringe a nueva Guinea, Nueva Caledonia (y posiblemente a Chile, con *Nothofagus alessandri*), en áreas de condiciones mesológicas húmedas y templado a cálidas (Archangelsky & Romero, 1974).

Ejemplares del género *Nothofagidites* fueron registrados en 3 de las localidades estudiadas en la Cuenca de Arauco, Dichato hacia Coliumo (0.559%), Penco (0.662%) y, en mayor porcentaje, Lomas de Bellavista (0.834%) (Figura 25). Así, este morfogénero estaría presente en el Miembro Colico de la Formación Curanilahue. Los representantes encontrados en las localidades de Dichato hacia Coliumo y Lomas de Bellavista corresponden a *Nothofagidites cranwellae* (tipo *brasii*) y aquellos contabilizados en Penco, a *N. cincta* (tipo *fusca*).

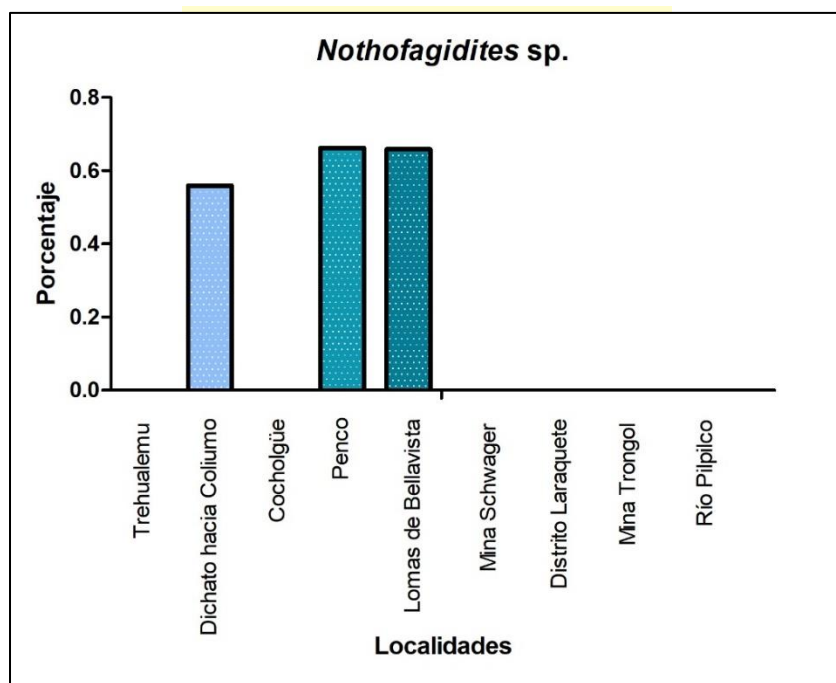


Figura 24. Comparación del porcentaje de presencia de *Nothofagidites* sp. en las localidades de la Cuenca de Arauco.

3.6. ASOCIACIONES DE PALINOMORFOS

3.6.1. *Haloragacidites harrisii*, *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus*

Haloragacidites harrisii, la especie más frecuente en las secuencias del miembro Lota de la Formación Curanilahue, a menudo se encuentra en asociación con las esporas de helechos *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus* que, en su conjunto, son indicadores de ambiente cálido y muy húmedo (Palma-Heldt, 1980a,b).

La asociación se ha registrado en los mantos carboníferos del Paleógeno de Arauco-Concepción (Collao *et al.*, 1987; Palma-Heldt, 1980a,b; Palma-Heldt & Quinzio, 2006).

Las esporas de *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus* encuentran su afinidad botánica actual en la familia Gleicheniaceae, que comprende registros fósiles que se remontan al Carbonífero. Su distribución abarca regiones pantropicales (Smith *et al.*, 2006), y las especies de esta familia tienden a desarrollarse en ambientes abiertos y soleados, caracterizados por suelos poco desarrollados y con deficiencias nutricionales (Páez, & Meza-Torres, 2023). En condiciones naturales, comúnmente se les encuentra en pendientes rocosas y a lo largo de ríos y arroyos (Kessler & Smith, 2018).

El palinomorfo *Gleicheniidites senonicus* presenta similitudes morfológicas con las esporas de la especie *Gleichenia circinata* y del género *Dicranopteris* (Raine *et al.*, 2011). El género *Gleichenia* pertenece a la región del Pacífico Sur (Yañez & Arana, 2016) y la especie *G. circinata* se ha registrado creciendo en “pantanos de dunas” de Nueva Zelanda (Eldon, 2010). Por otro lado, el género *Dicranopteris* tiene distribución tropical a subtropical y forma matorrales densos en claros de bosques, espacios abiertos, pastizales y sitios perturbados, desempeñando frecuentemente un papel pionero (Yañez & Arana, 2016).

En cuanto a la espora *Clavifera triplex*, su afinidad se establece con *Dicranopteris flexuosa* (Troncoso *et al.*, 2002), cuya distribución nativa se extiende por América tropical y subtropical. Prospera principalmente en el bioma húmedo (POWO, 2023), ocupando zonas abiertas, márgenes de selva y bosques, así como ciénagas y laderas cubiertas de hierba (Wiggins & Porter, 1971; Yañez & Arana, 2016).

En la cuenca de Arauco, esta asociación se identificó en las localidades de Cocholgüe, Distrito Laraquete de Mina Lota, Mina Trongol; en los Miembros Lota y Colico de la Formación Curanilahue.

3.6.2. *Gleicheniidites senonicus* y *Cyathidites minor*

La asociación *Gleicheniidites senonicus* y *Cyathidites minor* es característica del Terciario de Arauco, siendo más frecuente en la formación Curanilahue (Collao *et al.*, 1987; Palma-Heldt, 1980a,b; Palma-Heldt & Quinzio, 2006). Sin embargo, también se ha registrado en las Islas Shetland del Sur, en Península Byers (Palma-Heldt *et al.*, 2007), en Cabo Shirreff de la Isla Livingston (Palma-Heldt *et al.*, 2004) y en la localidad de Puerto del Hambre, en la Región de Magallanes (Palma-Heldt *et al.*, 2014). Su presencia sugiere un ambiente de bosque cálido y muy húmedo (Esterio *et al.*, 1997; Palma-Heldt *et al.*, 2007).

La afinidad botánica actual de *Cyathidites minor* se encuentra en la familia Cyatheaceae (Palma-Heldt, 1983; Palma-Heldt *et al.*, 2007; Raine *et al.*, 2011). *Cyathidites minor* se ha definido como un helecho arborescente que habita en regiones tropicales a templadas, en ambientes húmedos y boscosos, y generalmente se desarrolla mejor en localidades montañosas o de tierras altas (Ikegwuonu *et al.*, 2021). Esta espora es indicadora de ambiente selvático (Dutta *et al.*, 2018).

La familia Cyatheaceae se distribuye particularmente en el hemisferio sur. En América habitan desde México hasta el norte de Argentina (Márquez, 2017), siendo un elemento conspicuo de los bosques húmedos de montaña de las regiones tropicales y subtropicales (Large & Braggins, 2004; Bystriakova *et al.*, 2011; Pérez-Paredes *et al.*, 2014) y de las selvas lluviosas (Roviroso & Roviroso, 2013).

En la cuenca de Arauco, esta asociación se localizó en las localidades de Trehualem, Cocholgue, Lomas de Bellavista, Distrito Laraquete de Mina Lota, Mina Trongol, Río Pilpilco; en los Miembros Lota y Colico de la Formación Curanilahue y en la Formación Trihueco.

3.6.3. *Araucariacites australis*, *Podocarpidites* sp. y *Nothofagidites* sp.

La presencia de la asociación *Araucaria*, *Podocarpus*, *Nothofagus* en Chile se evidencia a partir de los 36°S, remontándose al Oligo-Mioceno (Leppe *et al.*, 1997; Palma-Heldt *et al.*, 2009). Estos elementos de la flora subantártica tienen requerimientos ambientales de humedad y temperaturas compatibles con un clima templado y húmedo (Torres *et al.*, 2009), se desarrollan asociados a una vegetación de bosque.

Araucariacites australis, cuya afinidad botánica actual corresponde al género *Araucaria* (Raine *et al.*, 2011), indica un ambiente templado a frío y humedad alta (Palma-Heldt & Alfaro, 1982). Mientras que el morfogénero *Podocarpidites* se relaciona con el género actual *Podocarpus*, presente en la selva montana de los trópicos y en la selva lluviosa templada-fría de las regiones australes (Petriella & Archangelsky, 1975).

En palinología, el conjunto de polen esporas de *Araucariacites australis*, *Nothofagidites* spp., *Podocarpidites* spp., con presencia de morfoespecies como *Proteacidites parvus* y de hongos epífitos, es típico de ambientes húmedos, de precipitaciones abundantes, y de temperaturas frías (Palma-Heldt *et al.*, 2004; Palma-Heldt *et al.*, 2007).

Esta asociación ha sido documentada en los sedimentos de los valles de Alto Biobío y Lonquimay, en el centro-sur de Chile (Rondanelli, 2011), regiones del Biobío y la Araucanía, respectivamente. También se ha identificado en la localidad de Puerto del Hambre (Palma-Heldt *et al.*, 2014) y en la Formación Loreto de la Región de Magallanes y la Antártica Chilena (Torres *et al.*, 2009). Asimismo, se ha observado en los depósitos morrénicos del Glaciar Aranda, en Cabo Shirreff, Isla Livingston, (Palma-Heldt *et al.*, 2004), en las Islas Shetland del Sur (Palma-Heldt *et al.*, 2007) de la Antártica y en la mayoría de las secuencias del Oligo-Mioceno de Chile, por ejemplo, en la Formación Cura-Mallín (Palma-Heldt *et al.*, 1994).

En la cuenca de Arauco, esta asociación, integrada por los palinomorfos *Araucariacites australis*, *Podocarpidites marwickii* y *Nothofagidites cincta*, fue identificada en la localidad de Penco, que corresponde al Miembro Colico de la Formación Curanilahue. Se encontraba en compañía de hongos epífitos, una amplia variedad de helechos y angiospermas proteáceas, mirtáceas y liliáceas.

3.7. PALEOAMBIENTE

3.7.1. Trehualemu

Las esporas de los morfogéneros *Unicellasporites*, *Lacrimasporonites*, *Multicellaesporites* y *Exesisporites* pertenecen al Reino Fungi. Los hongos son organismos ampliamente distribuidos en la naturaleza que suelen requerir una humedad ambiental elevada para su crecimiento y proliferación. Las esporas de hongos, epífitos y saprófitos, observadas en Trehualemu indican condiciones de lluvia o de humedad relativa del aire muy elevada (Palma-Heldt, 1983). La presencia de *Exesisporites* sp. sugiere un ambiente cálido (Quattrocchio *et al.*, 2003) y suelos con materia orgánica en descomposición (Carranza, 2006).

La afinidad botánica actual de las esporas de Pteridophyta de los morfotipos *Cyathidites* spp., *Laevigatosporites* spp., y *Peromonolites bowenii* se encuentra en distintas familias de la clase Filicopsida (Raine *et al.*, 2011). Dentro de esta clase, *Cyathidites australis*, *C. concavus* y *C. minor* son similares a las esporas de la familia Cyatheaceae, de helechos arborescentes, que constituye un componente notable de los bosques húmedos de montañas de las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Pérez-Paredes *et al.*, 2014). También se hace presente la clase Polypodiopsida, con *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus*, afines a las Gleicheniaceae, cuyos representantes actuales tienen una distribución tropical a subtropical y crecen en zonas abiertas, formando densos matorrales en claros de bosques, márgenes de selva o ciénagas (Wiggins & Porter, 1971; Yañez & Arana, 2016). En esta localidad, las pteridófitas son el grupo más abundante, evidenciando la existencia de un sotobosque húmedo y bien desarrollado que impide el paso de la luz hasta el suelo (Palma-Heldt, 1983).

Del grupo de las gimnospermas, *Lygistepollenites florinii*, *Podocarpidites marwickii* y *P. otagoensis*, afines a la familia Podocarpaceae, son indicadores de alta humedad y temperaturas templadas a frías (Torres *et al.*, 2009). Sus representantes actuales viven en la selva montana de los trópicos y en la selva lluviosa templado-fría de las regiones australes (Petriella & Archangelsky, 1975). Además, se reporta la presencia, aunque muy esporádica, de *Araucariacites australis*, otro notable elemento de los bosques subantárticos (Palma-Heldt *et al.*, 2009). Entre las angiospermas monocotiledóneas, se identificaron los palinomorfos *Liliacidites* spp., que pertenecen a la familia Liliaceae, la cual es subcosmopolita y se distribuye especialmente en regiones templadas y subtropicales (Xinqui *et al.*, 2000), estas herbáceas se desarrollan en matorrales, praderas, bosques y zonas de montaña. Las angiospermas dicotiledóneas, aunque escasas, presentaron una amplia variedad de formas, de las familias Malvaceae, Myrtaceae y Proteaceae, estas dos últimas sugieren ambientes húmedos, cercanos a corrientes de agua y las mirtáceas suelen formar parte de bosques húmedo-pantanosos (Fasola, 1969), inferencia reforzada por la presencia del alga dulceacuícola *Botryococcus* sp. y la briófito *Cingutriletes* sp., la cual encuentra hábitats óptimos para su crecimiento en los ecosistemas templado-lluviosos del sur de Sudamérica, favorecidos por un clima lluvioso y temperaturas moderadas (Villagrán, 2020).

No se encontraron ejemplares de *Spinizonocolpites echinatus*, indicador de manglar, ni de *Haloragacidites harrisii*, de condiciones tropicales.

En esta localidad, se identificó la asociación de *Gleicheniidites senonicus* y *Cyathidites minor*, indicadora de bosque cálido y muy húmedo (Esterio *et al.*, 1997; Palma-Heldt *et al.*, 2007)

El conjunto de polen esporas indica la existencia de un bosque multiestratificado, muy húmedo y de temperaturas templadas a cálidas, integrado por gimnospermas podocarpáceas y araucariáceas, y en menor medida, por angiospermas malváceas, mirtáceas y proteáceas. El sotobosque era exuberante y bien desarrollado, compuesto por helechos y herbáceas de tipo liliáceas que mantenían la humedad e impedían la llegada de la luz al suelo, generando las condiciones sombrías y húmedas propicias para

el crecimiento y proliferación de hongos epífitos y saprófitos. Se infiere la cercanía de un cuerpo de aguas continentales, laguna o pantano.

3.7.2. Dichato hacia Coliumo

La vegetación superior, dominada por angiospermas dicotiledóneas, está integrada por formas de las familias Myriaceae, Myrtaceae, Proteaceae y Nothofagaceae. De las Myriaceae, el palinomorfo más frecuente corresponde a *Haloragacidites harrisii*, afín a *Canacomyrca* de Nueva Caledonia (Palma-Heldt & Quinzio, 2006), la cual se desarrolla en climas tropicales y cálidos, bajo regímenes estacionales de lluvias (Oratlas, 2017). *Myrtaceidites parvus* y *Proteacidites* spp., como se mencionó anteriormente, sugieren ambientes húmedos y cercanos a corrientes de agua, como bosques húmedo-pantanosos. *Nothofagidites cranwellae* se relaciona con climas templado-cálidos y zonas de alta humedad (Herngreen *et al.*, 1996). Entre las angiospermas monocotiledóneas, se identificó *Liliacidites variegatus* y *Spinizonocolpites echinatus*, afín a la palmera *Nypa*, que es un fehaciente indicador de manglar (Collao *et al.*, 1987; Palma-Heldt & Quinzio, 2006). Las gimnospermas se registraron de manera muy esporádica y se integran únicamente por *Podocarpidites otagoensis*, indicadora de alta humedad y temperaturas templadas a frías (Torres *et al.*, 2009).

Se registraron esporas de Pteridophyta de los morfogéneros *Cyathidites* y *Laevigatosporites*. *Cyathidites minor* se ha definido como un helecho arborescente que habita en regiones tropicales a templadas, creciendo en ambientes húmedos y boscosos (Ikegwonu *et al.*, 2021) y es indicadora de ambiente selvático (Dutta *et al.*, 2018). En esta localidad, las pteridófitas son escasas y se presentan en baja variedad, lo cual indica un sotobosque húmedo, poco desarrollado y abierto, que permite la llega de la luz solar al suelo, lo que limita el crecimiento y proliferación de las esporas de hongo que, aunque variadas, se encuentran en baja cantidad. Se cuenta con la presencia de la espora de hongo saprófito *Exesisporites* sp.

El conjunto de polenesporas indica la existencia de un bosque tropical lluvioso, de condiciones cálidas y húmedas, dominado por angiospermas dicotiledóneas similares a *Canacomyrca*, árboles pequeños y de hojas coriáceas que les permite resistir a las condiciones de sol y lluvia. Acompañan mirtáceas, proteáceas y comienza la aparición de notofagáceas como parte de la flora de transición. Las gimnospermas de tipo podocarpáceas son escasas y en el exiguo sotobosque dominan las liliáceas sobre los helechos. Los hongos epífitos y saprófitos están presentes, pero de manera poco frecuente y vegetación tipo manglar se presenta localmente, sugiriendo la existencia de un pantano-costero.

3.7.3. Cocholgüe

Las angiospermas dicotiledóneas dominan la vegetación superior con representantes de las familias Myriaceae, Myrtaceae y Proteaceae. Se hacen presentes los palinomorfos *Haloragacidites harrisii*, indicador de climas tropicales, cálidos y abundantes lluvias, *Myrtaceidites parvus*, *Proteacidites crassus* y *P. parvus*, que sugieren ambientes húmedos, cercanos a corrientes de agua. Entre las angiospermas monocotiledóneas, se identificó *Liliacidites variegatus*, afín al polen de la familia Liliaceae. Las gimnospermas están subordinadas a este grupo y se integran por *Araucariacites australis* y *Podocarpidites marwickii*, indicadoras de alta humedad y temperaturas templadas a frías, cuyos representantes actuales, *Araucaria* y *Podocarpus* son elementos importantes de los bosques subantárticos (Torres *et al.*, 2009).

Se identificaron las esporas de pteridófito *Cyathidites* spp. y *Laevigatosporites* spp., de la clase Filicopsidaa (Raine *et al.*, 2011). Dentro de esta clase, *Cyathidites australis* y *C. minor*, de la familia Cyatheaceae, crecen en ambientes húmedos y boscosos. También se hace presente la clase

Polypodiopsida, con dos morfotipos afines a la familia Gleicheniaceae, *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus*, cuyos representantes actuales tienen una distribución tropical a subtropical y crecen en zonas abiertas, formando densos matorrales en claros de bosques, márgenes de selva o ciénagas (Wiggins & Porter, 1971; Yañez & Arana, 2016). El sotobosque en esta localidad es variado, moderadamente abundante y abierto, que permite el paso de la luz hasta el suelo, limitando la proliferación de esporas de hongos que, aunque variadas, se encuentran en baja cantidad para lo usual de este grupo. La espora *Exesisporites* sp. está presente.

En esta localidad se registró la asociación *Haloragacidites harrisii*, *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus* que es indicadora de ambiente cálido y muy húmedo (Palma-Heldt, 1980a,b) y la asociación *Gleicheniidites senonicus* y *Cyathidites minor*, de bosques cálidos y muy húmedos.

El conjunto de polenesporas indica la existencia de un bosque tropical lluvioso, multiestratificado, de condiciones cálidas y muy húmedas, dominado por angiospermas dicotiledóneas similares a *Canacomyrica*; árboles pequeños y de hojas coriáceas que les permite resistir a las condiciones de sol y lluvia. Acompañan mirtáceas y proteáceas. Las gimnospermas son de tipo podocarpácea y araucariácea, aunque estas últimas se presentan de manera muy esporádica. El sotobosque está dominado por helechos y se desarrollan algunas herbáceas liliáceas. Los hongos epífitos y saprófitos están presentes, pero de manera poco frecuente.

3.7.4. Penco

El grupo dominante, Pteridophyta, está compuesto por los morfotipos *Auritulasporites scanicus*, *Cyathidites australis*, *C. concavus*, *C. minor*, *Laevigatosporites kaitangataensis* y *Laevigatosporites vulgaris*, de la clase Filicopsida. De la clase Polypodiopsida se identificaron las Gleicheniaceae *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus*. El abundante y variado conjunto de esporas de pteridófita sugiere la presencia de un sotobosque bien desarrollado, pero probablemente distribuido en los márgenes del bosque principal, acompañado de herbáceas liliáceas; permitiendo el paso de la luz hasta el suelo, lo que limita la proliferación de esporas de hongos que se encuentran en baja cantidad.

Las angiospermas dicotiledóneas dominan la vegetación superior y, al igual que en la localidad de Dichato hacia Coliumo, se identifican las familias Myriaceae, Myrtaceae, Proteaceae y Nothofagaceae. De las Myriaceae, *Haloragacidites harrisii*, indicador de climas tropicales, de altas temperaturas, cálidos y húmedos, se encontró en baja cantidad. El conjunto de *Myrtaceidites parvus*, *Proteacidites* spp y el alga dulceacuícola *Botryococcus* sp., sugiere la cercanía de un cuerpo de agua continental y alta humedad. *Nothofagidites cincta* requiere suelos bien drenados y generalmente se encuentra en zonas templadas a frías. Su afinidad botánica actual es *Nothofagus betuloides* (Palma-Heldt, 1983), que se desarrolla en los bosques del sur de Chile y Argentina (Romero, 1978) y es un elemento dominante en el bosque magallánico perennifolio. Las gimnospermas están subordinadas a este grupo y se integran por *Araucariacites australis* y *Podocarpidites marwickii*, indicadores de alta humedad y temperaturas templadas a frías.

En esta localidad se hace presente la asociación *Araucariacites*, *Nothofagidites* y *Podocarpidites*, típica de ambientes húmedos, de precipitaciones abundantes, y de temperaturas frías (Palma-Heldt et al., 2004; Palma-Heldt et al., 2007).

La palinoflora en su conjunto indica la existencia de un bosque de lluvioso, de condiciones templadas a frías, gobernado por angiospermas dicotiledóneas de tipo proteácea, acompañadas de mirtáceas, notofagáceas y gimnospermas araucariáceas y podocarpáceas. Flora de transición dada por la disminución de *Haloragacidites harrisii* y la aparición de *Nothofagidites*. El sotobosque, bien desarrollado, crecía en los márgenes de la vegetación o en claros del bosque, compuesto por helechos

y herbáceas de tipo liliácea. El paso de la luz limitaba el desarrollo de los hongos epífitos. Se infiere la cercanía de un cuerpo de aguas continentales, lago o laguna, donde se desarrollaban algas.

3.7.5. Lomas de Bellavista

Palinoflora similar a las localidades de Dichato hacia Coliumo y Penco, dominada por angiospermas dicotiledóneas de las familias Myriaceae, Myrtaceae, Proteaceae y Nothofagaceae. Siendo los *Nothofagus* los palinomorfos clave, que indican un cambio en el ambiente y en el clima, tema que se abordará más adelante. De las Myriaceae, *Haloragacidites harrisii*, se encontró en baja cantidad. Nuevamente es identificado el conjunto de *Myrtaceidites parvus*, *Proteacidites* spp. y *Botryococcus* sp., el cual sugiere un ambiente próximo a corrientes de agua, *Nothofagidites cranwellae* se relaciona con climas templado-cálidos y zonas de alta humedad. Entre las angiospermas monocotiledóneas, se identificó *Liliacidites variegatus* y en las gimnospermas, que se registraron de manera muy esporádica, se integran *Bisaccites* sp. y *Podocarpidites marwickii*.

Las pteridofitas son poco abundantes y se presentan en baja variedad, se identificaron los morfotipos *Cyathidites concavus*, *C. minor*, *Laevigatosporites kaitangataensis*, *Laevigatosporites vulgaris* y *Gleicheniidites*, el cual es semejante a las esporas de la especie *Gleichenia circinata* y del género *Dicranopteris* (Raine *et al.*, 2011), de la familia Gleicheniaceae, la cual tiene distribución pantropical (Smith *et al.*, 2006) y sus representantes tienden a crecer en ambientes abiertos y soleados (Páez & Meza-Torres, 2023), en pendientes rocosas y a lo largo de ríos y arroyos (Kessler & Smith, 2018). En esta localidad, los helechos son un grupo más bien escaso, de modo que el sotobosque es incipiente y se encuentra dominado por angiospermas monocotiledóneas de tipo liliácea, aunque la elevada humedad ambiental genera el ambiente propicio para la proliferación de hongos epífitos.

En esta localidad se hace presente la asociación *Haloragacidites harrisii*, *Gleicheniidites senonicus* y *Clavifera triplex*, pero todos sus elementos se encuentran en bajas proporciones.

La palinoflora en su conjunto indica la existencia de un bosque de lluvioso, de condiciones templadas a frías, gobernado por angiospermas dicotiledóneas de tipo proteácea, acompañadas de mirtáceas, notofagáceas y gimnospermas podocarpáceas. Flora de transición dada por la disminución de *Haloragacidites harrisii* y la aparición de *Nothofagidites*. El sotobosque, escaso, estaba dominado por herbáceas de tipo liliácea que crecían junto a helechos. La elevada humedad ambiental, producto de la cercanía de un cuerpo de aguas continentales, como un lago, laguna o río, proporcionaba las condiciones propicias para el desarrollo de hongos epífitos y algas.

3.7.6. Mina Schwager

La localidad de Mina Schwager presentó una alta variedad de esporas de hongos epífitos y saprófitos, sin embargo, la frecuencia alcanzada por este grupo es inferior a lo usual para los estratos del Miembro Lota de la Formación Curanilahue. Las pteridofitas, igualmente escasas, están compuestas por los morfotipos *Cyathidites australis*, *C. minor*, *Laevigatosporites kaitangataensis*, *L. variegatus* y *Peromonolites bowenii*. Estos elementos, en su baja diversidad y cantidad, indicarían un ambiente de bosque húmedo y abierto, cuyo sotobosque es incipiente y se encuentra disperso.

Del grupo de las gimnospermas, se registraron esporádicamente *Bisaccites* sp., *Podocarpidites marwickii* y *P. otagoensis*, indicadores de alta humedad y temperaturas templadas a frías. Este grupo está subordinado a las angiospermas. Entre las monocotiledóneas, encontraron los palinomorfos *Liliacidites* spp., *Monocolpites* sp. y *Spinizonocolpites echinatus*, indicador de manglar. Las angiospermas dicotiledóneas dominan la vegetación superior, integradas por *Myrtaceidites parvus* y *Haloragacidites harrisii*, el palinomorfo más frecuente de la localidad.

El conjunto de polen esporas indica la existencia de un bosque tropical-lluvioso multiestratificado, de condiciones cálidas y húmedas, cuyo elemento más importante son las angiospermas dicotiledóneas similares a *Canacomyrica*; árboles pequeños de hojas coriáceas que las protegen de la luz y de la lluvia. Acompañan mirtáceas y podocarpáceas. El sotobosque es escaso y disperso, integrado por helechos y herbáceas liliáceas, en presencia de hongos epífitos y saprófitos. Vegetación tipo manglar se presenta localmente, pudiendo llegar a formar un pantano-costero.

3.7.7. Distrito Laraquete de Mina Lota

La elevada frecuencia y variedad de esporas fúngicas, grupo dominante en esta localidad, revela condiciones de alta humedad ambiental o frecuentes lluvias, pues si bien los hongos resisten variaciones de temperatura, responden principalmente al factor humedad. Dependiendo de las especies de plantas superiores a las que estén asociados, se determina el tipo de paleoflora al que pertenecen (neotropical a subtropical, paleoflora mixta o templado-fría) (Palma-Heldt *et al.*, 2003). La espora *Stereisporites antiquasporites* es afín al grupo de las briófitas, pequeñas plantas terrestres no vasculares distribuidas en todo el planeta, pero particularmente concentradas en los trópicos (Morales *et al.*, 2017), aunque los ecosistemas templado-lluviosos del sur de Sudamérica, favorecidos por un clima lluvioso y temperaturas relativamente moderadas por la influencia oceánica, sobresalen por los diversos hábitats con óptimas condiciones para el desarrollo de los distintos grupos de briófitas (Villagrán, 2020). Habitan sobre rocas, suelo, troncos o ramas de los árboles, preferentemente en lugares muy húmedos o en hábitats acuáticos, ya que requieren agua para la fecundación. Aunque algunas briófitas toleran la aspersión por agua salada, nunca son marinas (Delgadillo-Moya *et al.*, 2022).

Las pteridófitas son el segundo grupo mejor representado en esta localidad, se presentan los morfotipos *Cyathidites minor*, *Peromonolites bowenii* y *Laevigatosporites* spp, de la clase Filicopsida, y *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus*, de la clase Polypodiopsida. Las pteridófitas, en su conjunto, indicarían la presencia de un sotobosque húmedo y bien desarrollado, que obstruye el paso de la luz hasta el suelo, generando las condiciones propicias para la proliferación de hongos.

Las gimnospermas son escasas, integradas por araucariáceas y podocarpáceas, elementos indicadores de alta humedad y temperaturas templadas a frías. La vegetación superior está dominada por las angiospermas. Entre las monocotiledóneas se identificaron *Liliacidites kaitangataensis* y *Spinizonocolpites echinatus*, fuerte indicador de ambiente de manglar. Dentro de las angiospermas dicotiledóneas se registraron *Proteacidites parvus* y *Haloragacidites harrisii*, indicador de climas tropicales, cálidos y lluviosos.

En esta localidad se hace presente la asociación *Haloragacidites harrisii*, *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus*, indicadora de ambiente cálido y muy húmedo.

La palinoflora indica un bosque tropical-lluvioso, de condiciones cálidas y húmedas, cuyo elemento más importante son las angiospermas dicotiledóneas similares a *Canacomyrica*, que dominan sobre proteáceas y gimnospermas podocarpáceas poco frecuentes. El sotobosque está compuesto por un gran número de helechos en compañía de herbáceas de tipo liliácea, este impide el paso de la luz al suelo y mantiene la humedad elevada, permitiendo el óptimo desarrollo de distintos tipos de hongos. Vegetación tipo manglar se presenta localmente, pudiendo llegar a formar un pantano-costero.

3.7.8. Mina Trongol

En esta localidad. Los grupos Pteridophyta, Fungi y Angiospermae Dicotyledonae se encuentran en alta proporción. El grupo dominante, Pteridophyta, está compuesto por *Peromonolites bowenii*, *Cyathidites australis*, *C. minor*, *Laevigatosporites ovatus*, *L. vulgaris*, *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus*. El conjunto variado y abundante de pteridófitas sugiere la presencia de un sotobosque bien desarrollado y exuberante, que mantiene la humedad elevada la humedad y obstruye el paso de la luz hasta el suelo, lo que genera las condiciones propicias para el crecimiento y proliferación de esporas de hongo, el segundo grupo más abundante, se cuenta con la presencia de *Exesisporites* sp.

Las gimnospermas son escasas y se componen por podocarpáceas. Las angiospermas dominan la vegetación superior. Entre las monocotiledóneas se identificaron *Liliacidites kaitangataensis*, *L. variegatus* y *Spinizonocolpites echinatus*, indicador de ambientes de manglar o de tipo pantano-costeros. Las angiospermas dicotiledóneas se encuentran mayormente representadas por *Haloragacidites harrisii*. Acompañan morfoespecies de proteáceas y mirtáceas, indicadoras de ambientes húmedos y cercanos a fuentes de agua, lo cual se ve respaldado por la presencia de elementos como el alga dulceacuícola *Botryococcus braunii* y la briófito *Cingutritetes* sp.

En esta localidad se hace presente la asociación *Haloragacidites harrisii*, *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus* que es indicadora de ambiente cálido y muy húmedo; y la asociación *Gleicheniidites senonicus* y *Cyathidites minor*, cuya presencia sugiere un ambiente de bosque, igualmente cálido y muy húmedo.

La palinoflora indica la existencia de un bosque tropical-lluvioso, multiestratificado, de condiciones cálidas y húmedas, cuyo elemento más importante son las angiospermas dicotiledóneas similares a *Canacomyrca*, árboles pequeños de hojas coriáceas, que les permite protegerse de factores como el sol y la lluvia. Estas dominan sobre proteáceas, mirtáceas y liliáceas. Acompañan, de manera poco frecuente, gimnospermas podocarpáceas. Se revela la existencia de un sotobosque de helechos muy bien desarrollado, que obstruye el paso de la luz al suelo y mantiene elevada la humedad del sustrato, brindando las condiciones óptimas para la proliferación de distintos tipos de hongos. En las cercanías se deduce la presencia de un cuerpo de agua, probablemente un pantano-costero con vegetación tipo manglar.

3.7.9.- Orilla río Pilpilco

Los grupos mejor representados en esta localidad son Fungi, Angiospermae Dicotyledonae y Pteridophyta. La elevada presencia de esporas de hongos epífitos y saprófitos indican condiciones de alta humedad o de lluvia, pues estos factores contribuyen a su crecimiento y proliferación.

Las esporas de Pteridophyta están integradas por los morfotipos *Cyathidites australis*, *C. concavus*, *C. minor*, *Laevigatosporites ovatus* y *L. vulgaris*, de la clase Filicopsida, y *Gleicheniidites senonicus*, de la clase Polypodiopsida. Las pteridófitas indicarían un ambiente húmedo y conformarían un sotobosque bien desarrollado.

Las gimnospermas son sumamente escasas en esta localidad, representadas sólo por la morfoespecie *Podocarpidites otagoensis*. Las angiospermas dominan la vegetación superior. Entre las monocotiledóneas, se identificaron los palinomorfos *Liliacidites kaitangataensis*, *L. variegatus* y *Spinizonocolpites echinatus*, indicador de manglar. Dentro de las angiospermas dicotiledóneas se identificaron *Proteacidites parvus*, en muy baja cantidad, y *Haloragacidites harrisii*, el palinomorfo más frecuente.

En esta localidad se identificó la asociación *Gleicheniidites senonicus* y *Cyathidites minor*, cuya presencia sugiere un ambiente de bosque, igualmente cálido y muy húmedo.

El conjunto de polen esporas indica la existencia de un bosque tropical-lluvioso, de condiciones cálidas y húmedas, cuyo elemento más importante son las angiospermas dicotiledóneas similares a *Canacomyrica*, acompañadas esporádicamente proteáceas y podocarpáceas. El sotobosque estaría compuesto por liliáceas y helechos. La elevada humedad brindaría las condiciones propicias para la proliferación de hongos epífitos y saprófitos. Vegetación tipo manglar se presenta localmente, formando un pantano-costero.

Los paleoambientes inferidos para cada localidad se encuentran representados en la Figura 25. Se distinguen tres ambientes principales 1) Bosque templado lluvioso, en los cuales la vegetación superior está dominada por árboles de las familias Podocarpaceae, Araucariaceae, Myrtaceae o Proteaceae. 2) Bosque tropical lluvioso, cuyo elemento más importante árboles afines a *Canacomyrica monticola*. 3) Bosque tropical lluvioso con vegetación de manglar, considerando todas las localidades que registraron ejemplares de *Spinizonocolpites echinatus*.



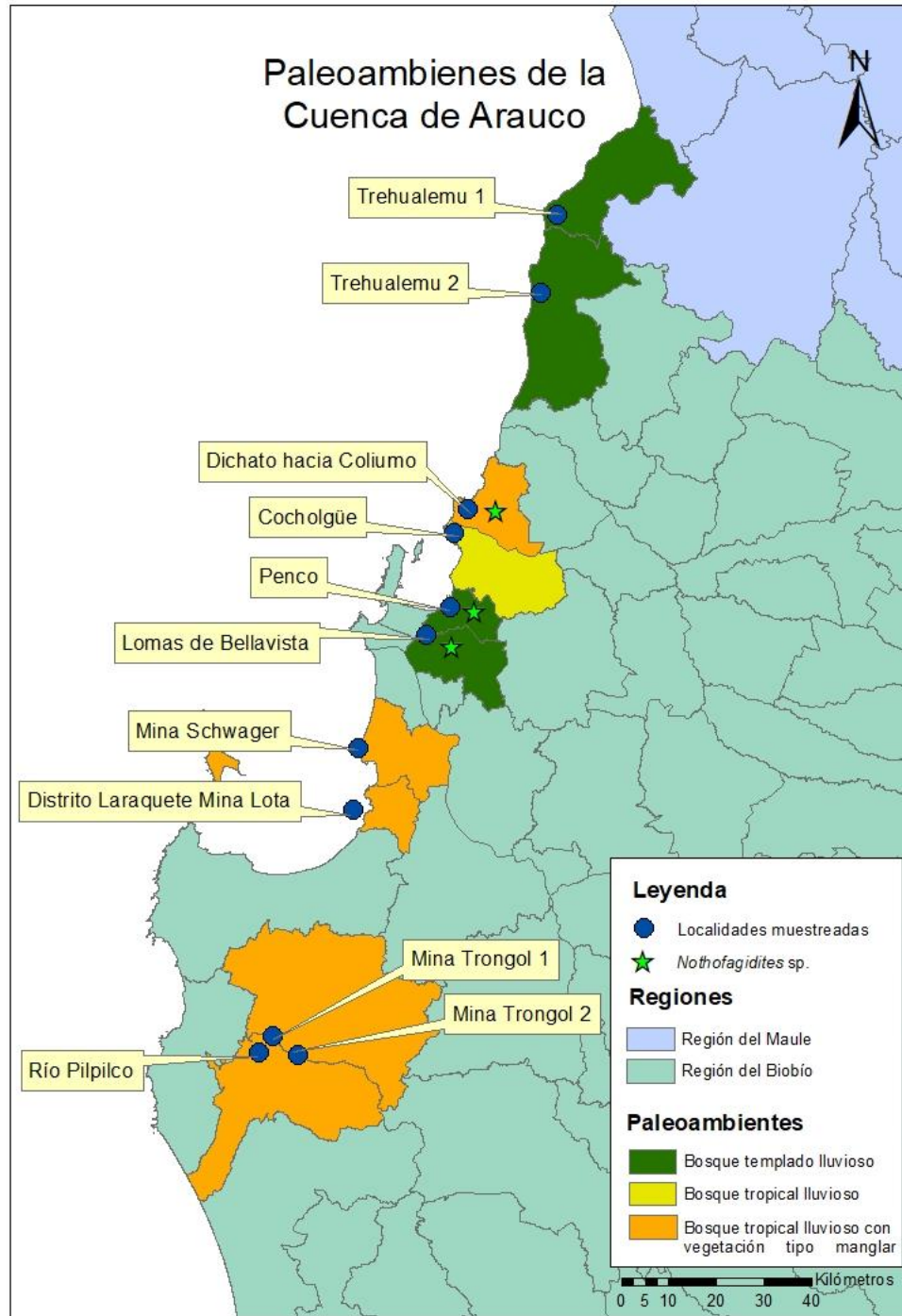


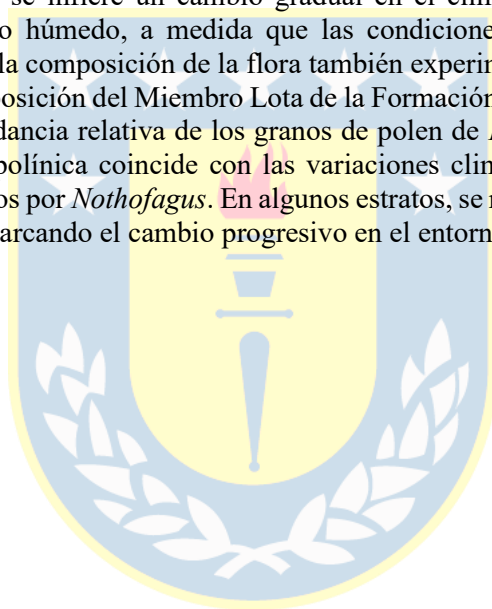
Figura 25. Mapa de paleoambientes para las localidades analizadas en la cuenca de Arauco.

3.8. PALEOCLIMA

Tras examinar los palinomorfos y los ambientes que indican para cada localidad, se pueden identificar dos distintos tipos de paleoclima. En la región norte de la Cuenca prevalecía un clima templado lluvioso. La elevada precipitación y la moderada evaporación propiciaron la formación de bosques multiestratificados, caracterizados por una rica biodiversidad, tal como se evidencia en las variadas clases de palinomorfos presentes en los estratos. Este sector exhibía una alta humedad, con niveles significativos de vapor de agua en el aire, creando condiciones propicias para el desarrollo de hongos epífitos y saprófitos. En contraste, en la parte sur de la Cuenca, el clima era tropical húmedo, caracterizado por temperaturas cálidas, precipitaciones estacionales abundantes y una elevada insolación. La vegetación dominante se adaptaba a estas condiciones mediante hojas coriáceas.

Resulta relevante resaltar los primeros registros de *Nothofagidites* spp. en la cuenca, particularmente en la Ruta del Itata (Baipás de Penco), según informes de Palma-Heldt et al. (2009). La presencia de esta palinoespecie se ha constatado en las localidades de Dichato hacia Coliumo, Penco y Lomas de Bellavista.

A partir de estos hallazgos, se infiere un cambio gradual en el clima, transitando desde tropical húmedo hacia uno templado húmedo, a medida que las condiciones climáticas se vuelven más rigurosas. En consecuencia, la composición de la flora también experimenta transformaciones con el paso de los años desde la deposición del Miembro Lota de la Formación Curanilahue, evidenciándose una disminución en la abundancia relativa de los granos de polen de *Haloragacidites harrisii*. Este cambio en la composición polínica coincide con las variaciones climáticas y la expansión de los bosques templados dominados por *Nothofagus*. En algunos estratos, se refleja claramente la presencia de una flora en transición, marcando el cambio progresivo en el entorno a lo largo del tiempo.



4. CONCLUSIONES

Se observó una alta diversidad de palinoflora en las localidades estudiadas, destacando la presencia de esporas de hongos, pteridófitas y angiospermas dicotiledóneas. La variabilidad en la frecuencia y abundancia de los diferentes grupos refleja cambios en el paleoambiente y paleoclima de norte a sur y a lo largo del tiempo en la cuenca de Arauco.

Conclusiones por localidad:

1. Trehualemu: Bosque templado lluvioso multiestratificado, integrado por podocarpaceas, araucariáceas, malváceas, mirtáceas y proteáceas.
2. Dichato hacia Coliumo: Bosque tropical lluvioso, cálido y muy húmedo, dominado por Myriaceae. Escasa vegetación tipo manglar y presencia de *Nothofagidites*. Conjunto esporopolínico de flora de transición.
3. Cocholgüe: Bosque tropical lluvioso, cálido y muy húmedo, dominado por Myriaceae.
4. Penco: Bosque templado lluvioso multiestratificado dominado por proteáceas. Presencia de *Nothofagidites*, conjunto esporopolínico de flora de transición.
5. Lomas de Bellavista: Bosque templado lluvioso dominado por proteáceas. Presencia de *Nothofagidites*, conjunto esporopolínico de flora de transición.
6. Mina Schwager: Bosque tropical lluvioso multiestratificado dominado por Myriaceae y vegetación tipo manglar.
7. Distrito Laraquete de Mina Lota: Bosque tropical, cálido y muy húmedo, dominado por Myriaceae y vegetación tipo manglar.
8. Mina Trongol: Bosque tropical lluvioso, multiestratificado, cálido y muy húmedo, dominado por Myriaceae. Vegetación tipo manglar.
9. Río Pilpilco: Bosque tropical lluvioso, cálido y muy húmedo, dominado por Myriaceae. Vegetación tipo manglar.

Palinomorfos indicadores de ambiente:

Se encuentran con mayor frecuencia en las localidades de:

1. *Haloragacidites harrisii*: Mina Schwager.
2. *Spinizonocolpites echinatus*: Río Pilpilco.
3. *Botryococcus* sp.: Penco.
4. *Exesisporites* sp.: Río Pilpilco.
5. *Nothofagidites* spp.: Lomas de Bellavista.

Zonas con asociaciones esporopolínicas.

Se registraron en las localidades de:

1. *Haloragacidites harrisii*, *Clavifera triplex* y *Gleicheniidites senonicus*: Cocholgüe, Distrito Laraquete de Mina Lota, Mina Trongol.
2. *Gleicheniidites senonicus* y *Cyathidites minor*: Trehualemu,, Cocholgüe, Lomas de Bellavista, Distrito Laraquete de Mina Lota, Mina Trongol, Río Pilpilco.
3. *Araucariacites australis*, *Podocarpidites* spp. y *Nothofagidites* spp.: Penco.

Las localidades de Trehualemu, Dichato hacia Coliumo, Penco y Lomas de Bellavista se designan al Miembro Colico de la Formación Curanilahue en base a la palinoflora observada.

La flora y el clima experimentan un cambio desde el Paleoceno al Eoceno. Durante la depositación del Miembro Lota de la Formación Curanilahue, el clima era tropical lluvioso y la vegetación estaba dominada por plantas afines a *Canacomyrica*, sin embargo, la abundancia relativa de *Haloragacidites harrisii* disminuye con la depositación del Miembro Colico, hacia finales del Eoceno. El clima se

torna más frío, coincidiendo con la aparición de granos de polen de *Nothofagus* y con la expansión de los bosques templados

Las zonas donde se desarrollaron pantanos costeros propiciaron la formación de carbón en la región, tales como Mina Schwager, Distrito Laraquete de Mina Lota, Mina Trongol y en las cercanías del Río Pilpilco.



REFERENCIAS

- Alpern, B. & Doubinger, J. 1973. Les spores monoletes du Paléozoïque. Microfossils organiques du Paléozoïque. Les soprores. CIMP Editions du CNRS., 104 pp. [En Francés].
- Álvarez, P., Radic, J. & Rojas, L. 2006. Evolución tectonosedimentaria de la cuenca de antearco Arauco-Itata, Chile Central. Actas del XI Congreso Geológico Chileno. Antofagasta, 21-24.
- Archangelsky, S. & Romero, E. 1974. Los registros más antiguos del polen de *Nothofagus* (Fagaceae) de Patagonia (Argentina y Chile). Boletín de la Sociedad Botánica de México 33: 13-29. <https://doi.org/10.17129/botsci.1120>
- Askin, R. A. 1990. Campanian to Paleocene spore and pollen assemblages of Seymour Island, Antarctica. Review of Palaeobotany and Palynology 65 (1): 105-114. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(90\)90061-M](https://doi.org/10.1016/0034-6667(90)90061-M)
- Axelrod, D. & Bailey, H. 1969. Paleotemperature analysis of Tertiary floras. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 6: 163-195. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(69\)90013-3](https://doi.org/10.1016/0031-0182(69)90013-3)
- Batten, D.J. & Grenfell, H.R. 1996. *Botryococcus*. In: Jansonius & McGregor (eds.), Palynology: principles and applications. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation 1: 205-214.
- Beloche, J.H., 1968. Notes on the Physiology of *Botryococcus braunii* Kützing. Archiv für Mikrobiologie 61: 335-346. <https://doi.org/10.1007/BF00409670>
- Beltrán-Echeverría. 2022. Aporte de la palinología al conocimiento del límite Cretácico-Paleógeno en Cocholgue, Localidad paratipo de la Formación Quiriquina. Unidad de Investigación para optar al grado académico de Licenciado en Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción (Inédito), 42 pp.
- Biró-Bagóczy, L. 1982. Revisión y redefinición de los “Estratos de Quiriquina”, Campaniano-Maastrichtiano, en su localidad tipo, en isla Quiriquina, 36°37' Lat. Sur, Chile, Sudamérica, con un perfil complementario en Cocholgue. III Congreso Geológico Chileno. Concepción, A29-A64.
- Bolkhovitina, N.A. 1953. Spores and pollen characteristic of Cretaceous deposits in the central region of the URSS. Trudy Geologicheskogo instituta. Akademiya nauk SSSR 145: 183 pp. [En Ruso].
- Bonilla, R., González, A. & Quinzio, L.A. 2009. Geología y Evaluación de Recursos Carboníferos en la Península de Arauco, Concepción (Inédito), 26 pp.
- Bonilla, R., González, A., Quinzio, L.A., Torres, L. & Carbacho, E. 2021. Estudio Geológico-Geofísico del Proyecto Normalización Hospital Santa Isabel de Lebu, Servicio de Salud Arauco. (Informe Inédito): Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, Concepción, 39 pp.
- Borel, M., Guerstein, R., Prieto, A. 2003. Palinomorfos acuáticos (algas y Acritarcos) del Holoceno de la laguna Hinojales (Buenos Aires, Argentina): interpretación paleoecológica. Ameghiniana 40 (4): 531-544. <https://www.ameghiniana.org.ar/index.php/ameghiniana/article/view/981>
- Brooks, R.R. 1987. Serpentine and its vegetation, a multidisciplinary approach. Dioscorides Press, Portland, Oregon, 454 pp.
- Buatois, L.A. & Encinas, A. 2011. Ichnology, sequence stratigraphy and depositional evolution of an Upper Cretaceous rocky shoreline in central Chile; bioerosion structures in a transgressed

metamorphic basement. Cretaceous Research 32: 203-212.
<https://doi.org/10.1016/j.cretres.2010.12.003>

Bystriakova N., Schneider H. y Coomes D. 2011. Evolution of the climatic niche in scaly tree ferns (Cyatheaceae, Polypodiopsida). Botanical Journal of the Linnean Society 165:1-19.

Carranza, Z. 2006. Selección e identificación de especies de hongos ectomicorrizógenos del Estado de Hidalgo más componentes en medio de cultivo sólido. Tesis para optar al Título de Ingeniero Agroindustrial, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo de Bravo, 94 pp.

Carrillo, R.M. 2013. Palinoprovicias del Paleógeno en áreas templadas y tropicales. Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California, 126 pp.

Casamiuela, R.M. 1969. La presencia en Chile de *Aristonectes cabrera* (Plesiosauria), del Maestrichtiense del Chubut, Argentina. IV Jornadas Geológicas Argentinas. Mendoza, 1999-213.

Cole, J.M. & Crittenden, S. 1997. Early Tertiary basin formation and development of lacustrine and quasi-lacustrine/marine source rocks on the Sunda Shelf of SE Asia. In: Fraser, Matthews & Murphy (eds.), Petroleum Geology of Southeast Asia, Geological Society Special Publication 126: 147-183.
<http://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.126.01.12>

Cookson, I. 1953. Records of the occurrence of *Botryococcus braunii*, *Pediastrum* and Hystrichosphaeridae in Cenozoic deposits of Australia. Natural Museum Melbourne 18, 107-123.
<https://doi.org/10.24199/j.mmv.1953.18.04>

Couper, R. A. 1953. Distribution of Proteaceae, Fagaceae and Podocarpaceae in some Southern Hemisphere Cretaceous and Tertiary beds. New Zealand Journal of Science and Technology, B35: 247-250.

Chaloner WG. 1968. The palaeoecology of fossil spores. In: Drake ET, editor. Evolution and environment. New Haven: Yale University Press, 125-138.

Chotin, P. 1969. Geología del área de Tomé. Revista Geoandes 3: 1-56.

Collao, S. & Palma-Heldt, S. 1978. Estudio geoquímico y paleopalínológico en mantos carboníferos y rocas encajadoras de parte del Miembro Lota de la Formación Curanilahue, Terciario de Arauco-Concepción, Chile. Convenio Universidad de Concepción – Empresa Nacional del Carbón (ENACAR), Concepción (Inédito). 181 pp.

Collao, S., Oyarzún, R., Palma-Heldt, S. & V, Pineda. 1987. Stratigraphy, palynology and geochemist of the Lower Eocene coals of Arauco, Chile. International Journal of Coal Geology 7: 195-208.

Darwin, Ch. 1846. Geological observations on South America. Smith Elder and Co, London, 279 pp.

DatosMundial.com. s.f. Clima en Nueva Caledonia. <https://www.datosmundial.com/oceania/nueva-caledonia/clima.php> Consultado el 27 de noviembre de 2023.

Delgadillo-Moya, C., Escolástico, D.A., Hernández-Rodríguez, E., Herrera-Puniagua, P., Peña-Retes, P. & Juárez-Martínez, C. 2022. Manual de Briófitas. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 156 pp.

Dettman, M. E. & Thomson, M. R. A. 1987. Cretaceous palynomorphs from the James Ross Island area, Antarctica – a pilot study. British Antarctic Survey Bulletin 77: 13-59.

Doubinger, J. 1972. Evolution de la flore (pollens et spores) au Chili central (Arauco), du Cretace superior au Miocene. C.R. Société de Biogéographie 427: 17-25.

Doubinger, J. & Chotin, P. 1975. Grains de pollen de Nothofagus du Crétacé-Tertiaire du Chili. Actes du 100° Congress National des Sociétés Savantes. Facs. II. Paris, 59-62.

Dowe J.L. 2010. Australian Palms: Biogeography, Ecology and Systematics. Clayton South, VIC: CSIRO Publishing, 344 p. <https://doi.org/10.1071/9780643098022>

Dutta, S., Mishra, P. & Kothari, V. 2018. Palynological Controls on Biostratigraphy of Barmer Basin, India. Search And Discovery Article, 3 pp.

Eldon, G.A. 2010. Notes on the presence of the brown mudfish (*Neochanna apoda* güntner) on the west coast of the south Island of New Zealand. N.Z. Journal of Marine & Freshwater Research 2 (1): 37-48. <https://doi.org/10.1080/00288330.1968.9515225>

Elgueta, S. & Arcos, R. 1994. Geología y modelo de sedimentación de la secuencia cretácico-terciaria de la Cuenca de Arauco. Empresa Nacional del Petróleo, Santiago (Inédito). 34 pp.

Erices, J. 2018. Estratigrafía e icnología de los estratos de la Formación Quiriquina que afloran en el área costera de la Provincia de Concepción, Región del Biobío, Chile: Evolución ecosedimentaria del sustrato. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento Ciencias de la Tierra Universidad de Concepción, Concepción, 197 pp.

Esterio, H., Collao, S. & Palma-Heldt, S. 1997. Caracterización petrográfica, mineralógica y paleopalínológica de los cerros islas Las Pulgas y San Miguel, Talcahuano. VIII Región. Actas del VIII Congreso Geológico Chileno, 1. Coquimbo, 480-483.

Fasola, A. 1969. Estudio palinológico de la Formación Loreto (Terciario medio), Provincia de Magallanes, Chile. Ameghiniana 6 (1): 3-49. <https://www.ameghiniana.org.ar/index.php/ameghiniana/article/view/1269>

Fergulio, E. 1949. Descripción geológica de la Patagonia. Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales 2: 349 pp.

Finger, K., Nielsen, S., De Vries, T., Encinas, A. & Peterson, D. 2007. Paleontologic evidence for sedimentary displacement in Neogene forearc basins of central Chile. Palaios 22: 3-16. <https://doi.org/10.2110/palo.2005.p05-081r>

Fritsch, F.E. 1961. The structure and reproduction of the algae, volume 1. Cambridge University Press, Londres, 791 pp.

Frutos, J. 1967. Palinología de los niveles carboníferos del Terciario de Arauco. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago (Inédito) 155 pp.

Gajardo, A. 1981. Hoja Concepción-Chillán, escala 1:250.000, Región del Biobío. Instituto de Investigaciones Geológicas, Mapas Geológicos Preliminares N°4, Santiago, 32 pp.

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria, Santiago, 165 pp.

Galli, C. 1967. Geología urbana y suelo de fundación de Concepción y Talcahuano, Chile. Departamento de Geología y Mineralogía, Universidad de Concepción, Concepción. Informe final de Proyecto de Investigación N°75 de la Comisión de Investigación Científica de la Universidad de Concepción (Inédito), 248 pp.

- García, F. 1968. Estratigrafía del Terciario de Chile central. In G. Cecioni (ed.). Simposio Terciario de Chile, Zona Central. Editorial Andrés Bello, Santiago, 25-58.
- Garrido, G. 1993. Contribución al conocimiento geológico de la zona Trehualemu-Cobquecura (Límite VII-VIII Regiones) sobre la base del contenido palinológico en niveles carbonosos. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento Ciencias de la Tierra, Concepción (Inédito). 47 pp.
- Gay, C. 1848. Historia física y política de Chile: Zoología, Tomo segundo. Maude & Renou, París, 372 pp.
- Gay, C. 1854. Historia física y política de Chile: Zoología, Tomo octavo. Maude & Renou, París, 499 pp.
- Gayo, E. 2001. Estudio de improntas terciarias y estimaciones paleoclimáticas en la zona de Concepción, VIII Región del Biobío, Chile. Tesis para optar al Título de Biólogo, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción (Inédito).
- Gee, C.T. 2001. The mangrove palm *Nypa* in the geologic past of the New World. *Wetlands Ecology and Management* 9:181–203. <https://doi.org/10.1023/A:1011148522181>
- González, L. & Garcés, S. 2006. Evaluación del Comportamiento Hidrogeológico e Hidrogeoquímico en la Cuenca del río Carampangue, Región del Biobío, Chile. XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta.
- González-Villarreal, M.L. 2004. La familia Myriaceae en el estado de Jalisco, México. (1ª ed.). Universidad de Guadalajara, 19 pp.
- Grez-Armanet, E. 1979. Estratigrafía, paleogeografía y estructura del yacimiento carbonífero submarino de Lota-Schwager. *Actas del II Congreso Geológico Chileno*. Arica, J1-J18.
- Groves, L. & Nielsen, S. 2003. A new Late Miocene Zonaria (Gastropoda: Cypraeidae) from central Chile. *The Veliger* 46: 351-354. <https://biostor.org/reference/132933>
- Herbert, J. 2006. Distribution, habitat and Red List status of the New Caledonian endemic tree *Canacomyrca monticola* (Myriaceae). *Biodiversity and Conservation* 15: 1459-1466.
- Herngreen, G.F.W., Kedves, M., Rovnina, L.V. & Smirnova, S.B. (1996). Cretaceous palynofloral provinces: a review. In: J. Jansonius and D.C. McGregor, Editors, *Palynology: Principles and Applications*, American Association of Stratigraphic Palynologists, Dallas 3: 1157–1188.
- Hidalgo, E., Palma-Heldt, S. y Figueroa, S. 2003. Paleoambiente del Miembro Carbonoso, Formación Loreto, en el yacimiento Pecket (52°57'S; 71°10'W) Magallanes, Chile. *Actas X Congreso Geológico Chileno*. Concepción, 10 pp.
- Ikegwonu, O.N., Chiaghanam, O.I., Nwakoby, N.E., Aniwetalu, E.U. & Chiadikobi, K.C. 2021. Occurrence of some Campanian-Maastrichtian organic-walled Microfossils from Enugu Shale, Anambra Basin, southeastern Nigeria: Implication for age and Paleoenvironments. *Global Journal of Geological Sciences* 19: 133-143. <https://dx.doi.org/10.4314/gjgs.v19i1.11>
- Jaffré, T., Morat, Ph., Veillon J.M., Rigault F. & Dagostini, G. 2001. Composition and Characteristics of the Native Flora of New Caledonia. *IRD, Nouméa*, 28–29.
- Kessler, M., Smith, A.R. 2018. Prodomus of a Fern flora for Bolivia. XI. Gleicheniaceae. *Phytotaxa* 344: 53-63. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.344.1.7>

- Kiffer, E. & Morelet, M. 2009. The Deuteromycetes – Mitosporic Fungi: Classification and Generic Keys. Science Publishers Inc, New York, 296 pp.
- Komárek, J. & Fott, B. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales. In: Huber-Pestalozzi (ed): Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 7. Teil, 1. Hälfte. Stuttgart.
- Large M.F. & Braggins J.E. 2004. Tree ferns. Timber Press, Portland, 259 pp. ISBN: 881926302, 9780881926309
- Lee, H. 1964. A modified method of coal maceration and simple technique for slide preparation. *Micropaleontology* 10 (4): 486-490.
- Lee, R.E. 1999. Phycology. Cambridge University Press, Cambridge, 614 pp.
- Leppe, M., Prado, V., Ruiz, K. & Palma-Heldt, S. 1998. Nuevos antecedentes de Araucariaceae y Podocarpaceae en la Formación Quiriquina (Campaniano-Maastrichtiano), VIII Región, Chile. VII Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía. Bahía Blanca, p. 6.
- Leppe, M., Ruiz, K. & Palma-Heldt, S. 1997. Chilean Record of Araucaria-Nothofagus-Podocarpus association since Tertiary to Recent. *Actas del II Southern Connection Congress*. Valdivia, p. 67.
- Le Roux, J. & Elgueta, S. 1997. Paralic parasequences associated with Eocene sea-level oscillation in an active margin setting: Trihuco Formation of the Arauco Basin, Chile. *Sedimentary Geology* 110: 257-276. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(96\)00086-3](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(96)00086-3)
- Lozano, M., Tonello, M. & Stutz, S. 2017. Paleobioindicadores lacustres neotropicales. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 223 pp. ISBN: 978-607-30-0209-7
- Martínez, R. & Frutos, J. 1968. Resultados palinológicos preliminares sobre el Terciario Lignífero de Arauco-Concepción. In: Cecioni, Andrés Bello (ed.): *El Terciario de Chile*. Zona Central, Santiago, pp. 105-117.
- Márquez, G.J. 2017. Familia Cyatheaceae Kaulf. In: Zuloaga & Belgrano (eds.). *Flora Vascular de la República Argentina 2: Licofitas, Helechos, Gymnospermae*, 1ª ed. Instituto de Botánica Darwinion – CONICET, 464 pp. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1p0vjr5>
- Martínez R. 1976. Hallazgo de *Sphaeroidinella dehiscentis dehiscentis* (Parker and Jones) en el Plioceno de Arauco: su significado para la reinterpretación del Neógeno Superior en Chile. *Actas del I Congreso Geológico: C125-C142*. Santiago.
- Miranda, S. 2018. Petrografía y proveniencia de las intrusiones clásticas de la Formación Ranquil (Mioceno), Península de Arauco, Región del Biobío, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, Concepción (Inédito), 54 pp.
- Morales, C., Ospino, J., Berbén, A., Negritto, M. 2017. Briófitos: Un Mundo en Miniatura. *InfoFlora, Boletín de Botánica* 1: 1-11.
- Muñoz-Cristi, J. 1956. Chile. In Jenks, W.F. (ed.): *Handbook of South American Geology: An explanation of the geologic map of South America*. Geological Society of America Memoirs, New York, pp. 187-215.
- Muñoz-Cristi, J. 1968. Contribución al conocimiento geológico de la región situada al sur de Arauco y participación del material volcánico en los sedimentos eocenos. *Simposio sobre el Terciario de Chile, Zona Central*, 31 pp.

- Moore HE. 1973. The major groups of palms and their distribution. *Gentes Herbarium* 11 (2): 24–141.
- Nielsen, S., Frassinetti, D., Bandel, K. 2004. Miocene Vetigastropoda and Neritimorpha (Mollusca, Gastropoda) of Central Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 7: 73-88. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.05.005>
- Nielsen, S. & Frassinetti, D. 2007. The Miocene Volutidae (Gastropoda: Neogastropoda) from the Pacific coast of Chile. *Journal of Paleontology* 81: 82-102. [https://doi.org/10.1666/0022-3360\(2007\)81\[82:TNVGNF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0022-3360(2007)81[82:TNVGNF]2.0.CO;2)
- Nielsen, S. & Valdovinos, C. 2008. Early Pleistocene mollusks of the Tubul Formation, South-Central Chile. *The Nautilus* 122 (4): 201-216.
- Oratlas. 2017. El Libro de Datos del Mundo – Nueva Caledonia – Geografía. Oratlas. <https://www.oratlas.com/libro-mundial/nueva-caledonia> Consultado el 27 de noviembre de 2023.
- Otero, R., Torres, T., Le Roux., Hervé, F., Fanning, C.M., Yury-Yáñez, R., Rubilar-Rogers, D. 2012. A Late Eocene age proposal for the Loreto Formation (Brunswick Peninsula, southernmost Chile), based on fossil cartilaginous fishes, paleobotany and radiometric evidence. *Andean Geology* 39 (1): 180-200. <http://dx.doi.org/10.5027/andgeoV39N1-a09>
- Otero, R., Soto-Acuña, S., O’Keefe, F., O’Gorman, J., Stinnesbeck, W., Suárez, M., Rubilar-Rogers, D., Salazar, C. & Quinzio, L.A. 2015. *Aristonectes quiriquinensis*, sp. nov., a new highly derived elasmosaurid from the upper Maastrichtian of central Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology* 34 (1): 100-125. <https://doi.org/10.1080/02724634.2013.780953>
- Ozawa, T. 2018. Aislamiento y caracterización de mutantes halotolerantes de rápido crecimiento de la microalga *Botryococcus braunii* raza B. Tesis para optar al grado de Maestro en Ciencias en la especialidad de Biotecnología de plantas. Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Irapuato, México (Inédito), 77 pp.
- Páez, S. & Meza-Torres, E. 2023. La familia Gleicheniaceae (Polypodiopsida) en Argentina y Paraguay. *Gayana Botánica* 8 (1): 86-102. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432023000100086>
- Palma-Heldt, S. 1980a. Contribución al conocimiento palinológico de los mantos carboníferos del Terciario de Arauco-Concepción, Chile. *Actas del II Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y I Congreso Latinoamericano de Paleontología*.
- Palma-Heldt, S. 1980b. Nuevos antecedentes en el estudio palinológico de los mantos carboníferos del Terciario de Arauco-Concepción, Chile. *Paleobotánica e áreas afíns na América do Sul*, 161-168.
- Palma-Heldt, S. & Alfaro, G.H. 1982. Antecedentes palinológicos preliminares para la correlación de mantos de carbón del Terciario de la Provincia de Valdivia. *Actas del III Congreso Geológico Chileno*. Concepción, 207-235.
- Palma-Heldt, S. 1983. Estudio palinológico del Terciario sedimentario de Lonquimay, Provincia de Malleco, Chile. *Revista Geológica de Chile* 18: 55-75.
- Palma-Heldt, S., Rubilar, A. & Wall, R. 1994. Consideraciones Paleambientales y Paleoclimáticas durante el Mioceno en la Formación Cura-Mallín, 37°- 39°S, Chile. *Actas del VII Congreso Geológico Chileno*. Concepción, 508-513.
- Palma-Heldt, S. 1995. Técnicas y marcha de Laboratorio Paleopalínológico. Facultad de Ciencias Químicas, Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción.

Palma-Heldt, S., Ruiz, K., Prado, V., & Leppe, M. 1998. Análisis polínico de la Formación Quiriquina, Maastrichtiano, en su localidad tipo Las Tablas, Isla Quiriquina. VII Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía. Bahía Blanca, p. 26.

Palma-Heldt, S., Reinoso-Cendoya, R., & Garrido Guzmán, N. 2003. Significado paleoecológico de la presencia de esporas de hongos en numerosas secuencias meso-cenozoicas chilenas. *Ameghiniana* 40 (4), Suplemento, Resúmenes, p. 13.

Palma-Heldt, S., Fernandoy, F., Quezada, I. & Leppe, M. 2004. Registro palinológico de Cabo Shirreff, Isla Livingston, nueva localidad para el Mesozoico de las Shetland del Sur. V Simposio Argentino y I Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas, 4 pp.

Palma-Heldt, S. Quinzio, L.A. 2006. Aporte de la Palinología al conocimiento del límite Cretácico-Paleógeno en la Cuenca de Arauco. VIII Región, Chile. IX Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía. Córdoba, p. 231.

Palma-Heldt, S., Fernandoy, F., Henríquez, G. & Leppe, M. 2007. Palynoflora of Livingston Island, South Shetland Islands: Contribution to the understanding of the evolution of the southern Pacific Gondwana margin. X International Symposium of Antarctic Earth Sciences, Extended Abstract 100. Santa Bárbara, California, 3 pp.

Palma-Heldt, S., Quinzio, L.A., Bonilla, R. & Cisterna, K. 2009. Implicancias estratigráficas del primer registro de *Nothofagidites* en el Paleógeno de la Cuenca de Arauco, Región del Biobío, Chile. XIII Congreso Geológico Chileno. Santiago, 4 pp.

Palma-Heldt, S., Torres, T., Cisterna, K. & Otero, R. 2014. Palinología del Cretácico Superior de Puerto del Hambre, Magallanes, Chile. Actas del IV Simposio de Paleontología en Chile. Valdivia, p. 59.

Pérez-Paredes, M., Sánchez-González, A. Tejero-Díez, J.D. 2014. Estructura poblacional y características del hábitat de dos especies de Cyatheaceae del Estado de Hidalgo, México. *Botanical Sciences* 9 (2): 259-271.

Petriella, B. & Archangelsky, S. 1975. Vegetación y ambiente en el Paleoceno de Chubut. Actas del I Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía. Tucumán, 257-270.

Philippi, R.A. 1887. Los fósiles terciarios i cuaternarios de Chile. Brockhaus, Leipzig, 256 pp.

Pineda, M.V. 1983. Evolución paleogeográfica de la península de Arauco durante el Cretácico Superior-Terciario. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile, Santiago (Inédito), 267 pp.

Pineda, V. 1986. Evolución paleogeográfica de la cuenca sedimentaria Cretácica – Terciaria de Arauco. In Frutos, J., R. Oyarzún and M. Pincheira (eds.). Geología y Recursos naturales de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción, Concepción, 376-390.

Pocknall, D., Clowes, C. & Jarzen, D. 2023. *Spinizonocolpites prominatus* (McIntyre) Stover & Evans: fossil *Nypa* pollen, taxonomy, morphology, global distribution, and paleoenvironmental significance, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 66 (3): 558-570. <https://doi.org/10.1080/00288306.2022.2078376>

Povilauskas, L. 2010. Palinología del entorno Cretácico/Paleógeno del SO de la Provincia de Santa Cruz: Significado estratigráfico y paleoambiental. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad de La Plata, La Plata, 395 pp.

POWO. 2023. *Dicranopteris flexuosa*. "Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:79839-2/general-information> Consultado el 05 de diciembre de 2023.

Punt, W., Marks, A. & Hoen, P.P. Myriaceae. The Northwest European Pollen Flora, 66. Review of Paleobotany and Palynology 123: 99-105.

Quattrocchio, M., Durango de Cabrero, J. & Galli, C. 2003. Formación Anta (Mioceno Temprano/Medio), Subgrupo Metán (Grupo Orán), en el río Piedras, Pcia. de Salta. Datos palinológicos. Revista de la Asociación Geológica Argentina 58 (1): 117-127. ISSN 0004-4822

Quattrocchio, M., Volkheimer, W. (2000). Danian paleophytogeoprovinces and their flora in Argentina. Revista Española de Paleontología 15 (1): 3-11.

Raine, J. 1984. Outline of a palynological zonation of Cretaceous to Paleogene terrestrial sediments in West Coast region, South Island, New Zealand. New Zealand Geological Survey report 109: 82 p.

Raine, J., Mildenhall, D. & Kennedy, E. 2011. Esporas fósiles y polen de Nueva Zelanda: Un catálogo ilustrado. 4ª edición. CNS Science serie miscelánea nº4. URL: <http://data.gns.cri.nz/sporepollen/index.htm>

Ramírez, C. 1987. El género *Nothofagus* y su importancia en Chile. Bosque 8 (2): 71-76. <https://doi.org/10.4206/bosque.1987.v8n2-01>

Rodríguez, D. 2022. Análisis estructural, implicancias tectónicas y geología del margen suroccidental de la comuna de Talcahuano, Región del Biobío. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, Concepción. 354 pp.

Romero, J. 1978. Polen de Gimnospermae y Fagáceas de la Formación Río Turbio (Eoceno), Santa Cruz, Argentina. Fundación Educación, Ciencia y Cultura, Buenos Aires, 223 pp.

Romero, J. & Zamalao, M. 1997. Clave para la identificación de las especies y puesta a punto del registro de *Nothofagidites* en América del Sur. Ameghiniana 34 (2): 207-214. <https://www.ameghiniana.org.ar/index.php/ameghiniana/article/view/2376>

Rondanelli, M. 2001. Historia de la vegetación andina en los valles de Alto Biobío y Lonquimay, Chile Centro-Sur (38°-39°), durante el Holoceno. Estudio Paleoecológico basado en el análisis de polen. Tesis presentada para optar al grado de Doctor en Ciencias Biológicas. Departamento de Geografía Física II, Facultad de Historia y Geografía, Otto-Friedrich Universität Bamberg, Bamberg, 106 pp.

Rovirosa, C.A. & Rovirosa, I. 2013. Prospección dasométrica de la familia Cyatheaceae en restauración en Cuetzalan, Puebla. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4 (20): 32-49.

Rueda, J. 1975. La Paleobotánica y la Palinología, sus relaciones y algunas aplicaciones. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XXXVI, 1: 1-30.

Rull, V. 1998. Middle Eocene Mangroves and Vegetation Changes in the Maracaibo Basin, Venezuela. PALAIOS 13 (3): 287-296. <https://doi.org/10.2307/3515451>

Salazar, C. 2004. Ammonites del Maastrichtiano de la Formación Quiriquina, VIII Región del Biobío, Chile: Sistemática, bioestratigrafía y afinidades paleogeográficas. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, Concepción (Inédito), 166 pp.

- Salazar, C.; Stinnesbeck, W. & Quinzio, L.A. 2010. Ammonites from the Maastrichtian (Upper Cretaceous) Quiriquina Formation in central Chile. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 257 (2): 181-236. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2010/0072>
- Salazar, C.; Stinnesbeck, W.; Quinzio, L.A. & Álvarez, M. 2015. Sequence stratigraphy affinities of the Quiriquina Formation (Late Cretaceous) from central Chile. *Libro de resúmenes del XIV Congreso Geológico Chileno*. La Serena, 700-703.
- Smith, A., Pryer, K., Schuettpelez, E., Korall, P., Schneider, H. & Wolf, P. 2006. A Classification for extant ferns. *Taxon* 55 (4), 705-731. <https://doi.org/10.2307/25065646>
- Smith, G.M. 1920. Phytoplankton of the inland lakes of Wisconsin. Part 1. Myxophyceae, Phaeophyceae, Heterokontae, and Chlorophyceae exclusive of the Desmidiaceae. *Wisconsin General and Natural History Survey Bulletin* 57 (1): 1-243.
- Stinnesbeck, W. 1986. Zu den faunistischen und palökologischen verhältnissen in der Quiriquina Formation (Maastrichtium) zentral-Chiles. *Palaeontographica A* 194: 99-237.
- Sundberg, M.D. 1977. Pollen of the Myriaceae – a Preliminary Report. *Journal of the Minnesota Academy of Science* 43 (1): 2-5.
- Takahashi, K. 1977a. Palynology of the Lower Tertiary Concepción Formation, Central Chile. *Trans. & Proc. Palaeontological Society of Japan*, 106: 71-88.
- Takahashi, K. 1977b. Upper Cretaceous palynoflora from Quiriquina Island, Chile. *Bulletin of the Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University, Natural Science* 17: 29-53.
- Takhtajan, A. 1986. *Floristic Regions of the World*. University of California Press, Berkeley, 248-253.
- Tanai, T. Phytogeographic and Phylogenetic history of the genus *Nothofagus* BL. (Fagaceae) in the southern hemisphere. *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University, Series IV, Geology and Mineralogy* 21 (4): 505-582. <http://hdl.handle.net/2115/36741>
- Tavera, J. 1942. Contribución al estudio de la estratigrafía y paleontología del Terciario de Arauco. *Anales del I Congreso Panamericano de Ingeniería en Minas y Geología*. Santiago, 580-632.
- Torres, T., Méon, H., Otero, R. & Galleguillos, H. 2009. Palinoflora y macroflora de la Formación Loreto, Punta Arenas, Región de Magallanes, Chile. *XIII Congreso Geológico Chileno*. Santiago, 4 pp.
- Troncoso, A. & Barrera, E. 1980. Polen del Eoceno de Osorno (Chile). *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Chile* 37: 179-203.
- Troncoso, A., Suárez, M., De la Cruz, R. & Palma-Heldt, S. 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. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082002000100007>
- Villagrán, C. 2020. Historia biogeográfica de las briófitas de Chile. *Gayana. Botánica* 77 (2): 73-114. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432020000200073>
- Veillon, J.-M., Amice, R., Bruy, D., Butin, J.-P., Fleuret, D., Garnier, D., Gâteblé, G., Goxe, J. & Suprin, B. 2020. *Canacomomyrica monticola*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T44725A136828331. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T44725A136828331.en>. Consultado el 27 de noviembre de 2023.

Wenzel, O. 1972. Geología y reservas del yacimiento carbonífero de Lebu. Empresa Nacional del Carbón S.A., (Inédito).

Wetzel, W. 1930. Die Quiriquina-Schiccthen als sediment und paläontologischen Archiv. *Palaeontographica A* 30 (5): 377-392.

Wiggins, L. & Porter, D. 1971. *Flora of the Galapagos*. Stanford University Press, Stanford, California, 998 pp.

Xinqui, C., Songyun, L., Jiemei, X. & Tamura, M. 2000. Liliaceae. In: Wu, Z. and Raven, P.H. (eds.) *Flora of China*, 24. Science Press, Beijing, and Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, 73-263.

Yamada, T., Yamada, T.F., Terada, K., Ohsawa, T., Yabe, A., Legrand, J., Uemura, K., Leppe, M., Hinojosa, L.F., López-Sepúlveda, P. & Nishida, H. 2019. *Sueria laxinervis*, a new fossil species of Cycadales from the Upper Cretaceous Quiriquina Formation in Cocholgue, Biobío Region, Chile. *Phytotaxa* 402 (2): 126-130. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.402.2.7>

Yañez, A. & Arana, M.D. 2016. Familia Gleicheniaceae C. Presl. In: Zuloaga & Belgrano (eds.). *Flora Vascular de la República Argentina 2: Licofitas, Helechos, Gymnospermae*, 1ª ed. Instituto de Botánica Darwinion – CONICET, 464 pp. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1p0vjr5>

Zippi, P. 1998. Freshwater algae from the Mattagami Formation (Albian), Ontario: Paleoecology, botanical affinities, and systematic taxonomy. *Micropaleontology* 44 (1), 1-78. <https://doi.org/10.2307/1485998>



ANEXO

Tabla 12. Información de muestreo obtenida en terreno para cada muestra.

Número Paleopalinoteca	Descripción de la muestra
122	Techo Manto 5, Miembro Lota de la Formación Curanilahue. Sondaje 730 a 144 m de profundidad. Muestreada en Mina Schwager.
146	Manto 4, Miembro Lota de la Formación Curanilahue. Sondaje EL-36. Muestreada en Mina Lota, Distrito Laraquete.
147	Manto 4, Miembro Lota de la Formación Curanilahue. Sondaje EL-33. Muestreada en Mina Lota, Distrito Laraquete.
149	Manto Alto, Rechazo, Miembro Colico de la Formación Curanilahue. Sondaje ET-6. Muestreada en Mina Trongol.
150	Manto Alto, Rechazo, Miembro Colico de la Formación Curanilahue. Sondaje ET-7. Muestreada en Mina Trongol.
151	Manto Doble, Miembro Colico de la Formación Curanilahue. Sondaje ET-6. Muestreada en Mina Trongol.
152	Manto Doble, Miembro Colico de la Formación Curanilahue. Sondaje ET-7. Muestreada en Mina Trongol.
248	Miembro Colico de la Formación Curanilahue. Sondaje Mina Trongol.
1934	Manto Alto, El Paraíso 2, Pirquén. Muestreada en Mina Trongol.
1936	Manto Alto, Pirquén. Muestreada en Mina Trongol.
165	Manto Chiflón, Formación Trihueco, tomada en la orilla norte del río Pilpilco.
705	Manto 1, Formación Curanilahue. Muestreada en Trehualemu (Cerca de Cobquecura)
706	Manto 2, Formación Curanilahue. Muestreada en Trehualemu (Cerca de Cobquecura)
707	Manto 3, Formación Curanilahue. Muestreada en Trehualemu (Cerca de Cobquecura)
708	Manto 4, Formación Curanilahue. Muestreada en Trehualemu (Cerca de Cobquecura)
1656	M VIII 1. Muestreada en Lomas de Bellavista.
1660	M VIII 4. Muestreada en Lomas de Bellavista, inferior a M VIII 1.
1661	M 9 de Dichato hacia Coliumo.
1658	I VI 2 lutita negra entrada a Cocholgüe.
1940	M5D1-G3. Muestreada en Cocholgüe.
1938	9 CI-66. Muestreada en Penco.

Tabla 13. Coordenadas, localidad y Formación geológica de procedencia de las muestras.

Coordenadas UTM WGS 84		Número Paleopalintoteca	Localidad	Formación – Miembro
N	E			
5903444.80	661158.00	122	Mina Schwager	Curanilahue – M. Lota
5885012.50	661113.90	146	Distrito Laraquete Mina Lota	Curanilahue – M. Lota
5893062.80	663844.40	147	Distrito Laraquete Mina Lota	Curanilahue – M. Lota
5838804.00	648414.50	149	Mina Trongol	Curanilahue – M. Colico
5838804.00	648414.50	150	Mina Trongol	Curanilahue – M. Colico
5838804.00	648414.50	151	Mina Trongol	Curanilahue – M. Colico
5838804.00	648414.50	152	Mina Trongol	Curanilahue – M. Colico
5842802.20	643151.90	248	Mina Trongol	Curanilahue – M. Colico
5842802.20	643151.90	1934	Mina Trongol	Curanilahue – M. Colico
5842802.20	643151.90	1936	Mina Trongol	Curanilahue – M. Colico
5833256.50	650395.70	165	Río Pilpilco	Trihuenco
6015559.30 – 5998986.90	702846.10 – 699461.30	705	Trehualemu	Curanilahue – M. Colico
6015559.30 – 5998986.90	702846.10 – 699461.30	706	Trehualemu	Curanilahue – M. Colico
6015559.30 – 5998986.90	702846.10 – 699461.30	707	Trehualemu	Curanilahue – M. Colico
6015559.30 – 5998986.90	702846.10 – 699461.30	708	Trehualemu	Curanilahue – M. Colico
5927237.00	675468.00	1656	Lomas de Bellavista	Curanilahue – M. Colico
5927237.00	675468.00	1660	Lomas de Bellavista	Curanilahue – M. Colico
5953680.00	684018.00	1661	Dichato a Coliumo	Curanilahue – M. Colico
5948490.00	681250.00	1658	Cocholgüe	Curanilahue – M. Lota
5946734.00	680671.00	1940	Cocholgüe	Curanilahue – M. Lota
5933072.00	680309.00	1938	Penco	Curanilahue – M. Colico