



UNIVERSIDAD DE CHILE - FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA DE PREGRADO

“PALEOVEGETACIÓN E HISTORIA DE FUEGO EN LA CUENCA DE LAGO NEGRO, REGIÓN DE AYSÉN (44° S), DURANTE LOS ÚLTIMOS 1800 AÑOS”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de Biólogo con mención en Medio Ambiente.

MARÍA JOSÉ KAFFMAN BARBA

Director del Seminario de Título: Dr. Patricio I. Moreno Moncada

Agosto 2019

Santiago - Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por:

MARÍA JOSÉ KAFFMAN BARBA

“PALEOVEGETACIÓN E HISTORIA DE FUEGO EN LA CUENCA DE LAGO NEGRO, REGIÓN DE AYSÉN (44° S), DURANTE LOS ÚLTIMOS 1800 AÑOS”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar el Título de Biólogo con mención en Medio Ambiente.

Dr. Patricio I. Moreno Moncada
Director Seminario de Título

Comisión Revisora y Evaluadora

Dr. Ramiro Bustamante Araya
Presidente Comisión

Dr. Rodrigo Villa Martínez
Evaluador

Santiago de Chile, Agosto de 2019.

BIOGRAFÍA



Nació el 18 de Abril de 1991. Cursó su enseñanza básica y media en el colegio Francisco de Miranda en Santiago. Debido a su constante interés por el medio ambiente decide ingresar a la carrera de Biología Ambiental de la Universidad de Chile el año 2011. El 2013 se integra al laboratorio de paleoecología cuaternaria, donde decide desarrollar su seminario de título.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por su apoyo, a Tomás por su compañerismo, y a mis amigos por sus consejos. Al dr. Patricio Moreno por ayudarme y guiarme en este seminario. Al dr. Rodrigo Villa y a todos los integrantes del laboratorio de Paleoecología Cuaternaria de la Universidad de Chile, principalmente a Loreto Hernandez y William Henríquez, por todas las enseñanzas y la infinita paciencia. También agradezco a los que han aportado en la creación de las muestras de referencia, principalmente a Patricio Moreno, Rodrigo Villa, Javiera Videla y Oscar Pesce.

Al proyecto FONDECYT n° 1115469, por financiar esta actividad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de contenidos.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de tablas.....	viii
Lista de abreviaturas.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos.....	7
ÁREA DE ESTUDIO.....	8
SECCIÓN 1. ESTUDIO PALEOECOLÓGICO DE LA CUENCA DE LAGO NEGRO	
INTRODUCCIÓN.....	12
METODOLOGÍA.....	13
Obtención del registro sedimentario.....	13
Estratigrafía y cronología.....	13
Análisis del testigo lacustre.....	14
RESULTADOS.....	18
Estratigrafía y cronología.....	18
Análisis polínico.....	20
Análisis de carbón.....	28
DISCUSIÓN.....	30
Paleovegetación y paleoclima.....	31
Régimen de fuego.....	33
Impacto antrópico.....	36
Contextualización regional.....	37
CONCLUSIÓN.....	40
REFERENCIAS.....	42
SECCIÓN 2. MATERIAL DE REFERENCIA DE TIPOS POLÍNICOS	
INTRODUCCIÓN.....	49
METODOLOGÍA.....	50
RESULTADOS.....	51
DISCUSIÓN.....	69
CONCLUSIÓN.....	70
REFERENCIAS.....	71
ANEXO.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de Lago Negro dentro de Golfo Corcovado.	8
Figura 2. Precipitación media mensual registrada por la estación meteorológica de La Junta	10
Figura 3. Batimetría de Lago Negro	13
Figura 4. Fotografías de partículas macroscópicas de carbón observadas a la lupa	17
Figura 5. Porcentaje y densidad de materia orgánica e inorgánica de la columna estratigráfica (PPI) del registro sedimentario de Lago Negro	18
Figura 6. Modelo de edad del registro sedimentario de Lago Negro	20
Figura 7. Diagrama de porcentaje polínico de los principales taxa arbóreos de Lago Negro	23
Figura 8. Diagrama de porcentaje polínico de los principales taxa de arbustos y herbáceas presentes en Lago Negro.....	24
Figura 9. Diagrama de porcentaje polínico de los principales taxa de helechos y acuáticas de Lago Negro.	25
Figura 10. Tasa de cambio polínico de los principales taxa terrestres en la cuenca de Lago Negro.....	27
Figura 11. Tasa de acumulación de partículas de carbón.	29
Figura 12. Relación de tamaños de los granos de polen analizados.	52
Lámina 1. Adiantaceae: <i>Adiantum chilense</i> (1); Aspleniaceae: <i>Pleurosorus papaverifolius</i> (2,3); Blechnaceae: <i>Blechnum hastatum</i> (4); Gleicheniaceae: <i>Sticherus quadripartitus</i> (5).	58
Lámina 2. Ephedraceae: <i>Ephedra chilensis</i> (6); Pinaceae: <i>Pinus radiata</i> (7); Podocarpaceae: <i>Saxegothea conspicua</i> (8).....	59
Lámina 3. Aextoxicaceae: <i>Aextoxicon punctatum</i> (9); Anacardiaceae: <i>Schinus polygamus</i> (10); Berberidaceae: <i>Berberis darwinii</i> (11); Bignoniaceae: <i>Campsidium valdivianum</i> (12); Celastraceae: <i>Maytenus boaria</i> (13), <i>Maytenus disticha</i> (14).	60

- Lámina 4.** Cunoniaceae: *Caldcluvia paniculata* (15), *Weinmannia trichosperma* (16); Elaeocarpaceae: *Aristolelia chilensis* (17), *Crinodendron hookerianum* (18); Gesneriaceae: *Mitraria coccinea* (19); Malvaceae: *Corynabutilon vitifolium* (20); Myrtaceae: *Amomyrtus luma* (21). 61
- Lámina 5.** Nothofagaceae: *Nothofagus antarctica* (22), *N. nitida* (23), *N. pumilio* (24); Onagraceae: *Fuchsia magellanica* (25), *Oenothera acaulis* (26)..... 62
- Lámina 6.** Proteaceae: *Embothrium coccineum* (27), *Lomatia hirsuta* (28); Scrophulariaceae: *Buddleja globosa* (29); Verbenaceae: *Rhaphithamnus spinosus* (30); Winteraceae: *Drimys winteri* (31). 63
- Lámina 7.** Esquema de Adiantaceae: *Adiantum chilense* (1); Aspleniaceae: *Pleurosorus papaverifolius* (2); Blechnaceae: *Blechnum hastatum* (3); Gleicheniaceae: *Sticherus quadripartitus* (4); Ephedraceae: *Ephedra chilensis* (5); Pinaceae: *Pinus radiata* (6). 64
- Lámina 8.** Esquemas de Podocarpaceae: *Saxegothaea conspicua* (7); Aextoxicaceae: *Aextoxicon punctatum* (8); Anacardiaceae: *Schinus polygamus* (9); Berberidaceae: *Berberis darwinii* (10); Bignoniaceae: *Campsidium valdivianum* (11); Celastraceae: *Maytenus boaria* (12). 65
- Lámina 9.** Esquemas de Celastraceae: *Maytenus disticha* (13); Cunoniaceae: *Caldcluvia paniculata* (14), *Weinmannia trichosperma* (15); Elaeocarpaceae: *Aristolelia chilensis* (16), *Crinodendron hookerianum* (17); Gesneriaceae: *Mitraria coccinea* (18). 66
- Lámina 10.** Esquemas de Malvaceae: *Corynabutilon vitifolium* (19); Myrtaceae: *Amomyrtus luma* (20); Nothofagaceae: *Nothofagus antarctica* (21), *N. nitida* (22), *N. pumilio* (23); Onagraceae: *Fuchsia magellanica* (24) 67
- Lámina 11.** Esquema de Onagraceae: *Oenothera acaulis* (25); Proteaceae: *Embothrium coccineum* (26), *Lomatia hirsuta* (27); Scrophulariaceae: *Buddleja globosa* (28); Verbenaceae: *Rhaphithamnus spinosus* (29); Winteraceae: *Drimys winteri* (30) 68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dataciones radiocarbónicas para Lago Negro	19
Tabla 2. Tefras presentes en el registro sedimentario de Lago Negro.....	19
Tabla 3. Material Estudiado para referencias polínicas	51

LISTA DE ABREVIATURAS

AMS	Accelerator Mass Spectrometry
Años cal AP	Años calendario antes del presente
CVO	Cinturón de los vientos del oeste
DC	Años después de Cristo
msnm	Metros sobre el nivel del mar
PPI	Análisis de pérdida por ignición
UMG	Último máximo glacial
UTG	Última terminación glacial
ZVS	Zona volcánica del sur

RESUMEN

La aceleración del cambio climático ha aumentado el interés en los estudios paleoambientales con el objeto de conocer la variabilidad natural del clima y sus efectos sobre el medio ambiente. En el sur de Chile estos estudios se han focalizado principalmente en Patagonia, donde la expansión y reducción de los mantos de hielo y los eventos de fuego son los principales factores de origen climático responsables de los procesos de cambio en las comunidades vegetales, considerando el volcanismo y la acción humana como los factores ambientales no climáticos más importantes al incrementar los eventos de fuego en esta región. Este seminario de título se focaliza en la cuenca de Lago Negro (43°58'17.7"S 72°16'10.7"O, 82 msnm) ubicada en el extremo noreste de la Región de Aysén. El objetivo es documentar cambios en la vegetación y eventos de fuego durante los últimos 1800 años mediante análisis palinológico y de partículas de carbón, y generar material de referencia de los tipos polínicos actuales que aporten a una correcta identificación e interpretación de los registros sedimentarios.

Los testigos obtenidos muestran la presencia de tres tefras en 1720, 1550 y 820 años cal AP. El registro de polen muestra un ensamble compuesto por elementos del bosque templado húmedo, con taxa representantes del bosque Nordpatagónico con elementos del bosque Valdiviano, dominado por *Nothofagus* tipo *dombeyi*. *Eucryphia/Caldcluvia* disminuye a lo largo del registro, presentando una alta abundancia en el periodo 1800-1350 años cal AP, indicando apertura del dosel y condiciones más cálidas, lo que coincide con una elevada tasa de acumulación de carbón. *Drimys winteri* alcanza su máxima abundancia entre los años 1260 y 180 cal AP. En este periodo no hay presencia significativa de partículas de carbón, por lo que se infieren mayores precipitaciones. En el registro se observa un aumento de las coníferas higrófilas resistentes al frío *Saxegothaea conspicua* y *Podocarpus nubigena*, sugiriendo una disminución de las temperaturas y un aumento en el régimen de precipitación. En los últimos 180 años se aprecia un aumento en la tasa de acumulación de partículas de carbón, disminución de *Nothofagus* tipo *dombeyi* y aumento de Poaceae, pudiendo estar relacionado con la colonización chileno-europea en esta región.

En el registro sedimentario identifique eventos de gran magnitud de fuego que no son atribuibles al volcanismo explosivo, por lo que se infiere que el fuego es modulado por la variabilidad climática, mostrando condiciones más cálidas/secas en 1800-1300 años cal AP, y más frías/húmedas en 1250-150 años cal AP. En los últimos 180 años, debido a la influencia de la actividad antrópica, no es factible una interpretación climática a partir de estos eventos. Finalmente, no se advierte una respuesta en la vegetación a regímenes de perturbación asociados a la actividad volcánica, con excepción de la tefra más antigua, por lo que se infiere que los cambios en la vegetación son impulsados principalmente por cambios en el clima y regímenes de fuego durante los últimos 1800 años.

Se describieron los granos de polen de treinta especies actuales presentes en el sector de Lago Negro. Cuatro pteridófitas, tres gimnospermas y veintitrés angiospermas dicotiledóneas.

INTRODUCCIÓN

Durante la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en 1992, se expuso cómo la biodiversidad global se ha ido erosionando significativamente desde mediados del siglo XX a nivel mundial. Soulé (1991), identificó como las principales amenazas el cambio climático, la presencia de especies exóticas, la contaminación y la pérdida de hábitat generada por la actividad antrópica. Esto puso en debate el rol que cumple la sociedad actual en la aceleración del cambio climático, aumentando en el último tiempo el interés hacia los estudios paleoambientales, con el objeto de conocer la variabilidad natural del clima y sus efectos sobre el medio ambiente y la biodiversidad.

La paleoecología utiliza diferentes indicadores paleoambientales para identificar la composición de las comunidades biológicas en el pasado. Los granos de polen y esporas se consideran un indicador bioestratigráfico y paleoambiental de alto poder de resolución, ya que estas estructuras han sido constantemente producidas por las plantas terrestres desde su aparición hace aproximadamente 400 millones de años. La forma y tamaño de estos granos se consideran un carácter con valor taxonómico al ser específicos para cada grupo, permaneciendo constante dentro de una misma especie. Estos microfósiles se conservan en los sedimentos gracias a su cubierta externa de esporopolenina, polímero resistente a la degradación ambiental el cual se conserva prácticamente inalterado bajo condiciones anóxicas, en fondos de lagos y turberas (Jansonius & McGreogor, 1996). De esta manera, en estudios estratigráficos de sedimentos lacustres, estos indicadores permiten reconstruir los patrones de distribución de las plantas en el pasado, entregando una perspectiva histórica sobre el cambio ecológico y la biodiversidad actual.

El conocimiento de la composición de las comunidades vegetales en el pasado permite una aproximación a las condiciones ambientales y climáticas, basándose en que la distribución de estas especies se encuentra limitada por su tolerancia a diferentes factores ambientales que inciden en su supervivencia y reproducción. Dentro de los factores ambientales causantes de la variación de la fisionomía vegetal, el clima es

el principal responsable a nivel regional (Box, 2016; Box & Fujiwara, 2013; Breckle & Walter, 2002; Woodward, 1987), observándose procesos de expansión, migración o reducción de las comunidades vegetales en respuesta a cambios climáticos a lo largo del tiempo geológico (Young y col., 2007). Esta variación también responde a factores locales, siendo las características bióticas y abióticas del lugar responsables de una mayor heterogeneidad a nivel local (Van Andel, 2013; Austin, 2013). Esta relación clima-vegetación le ha permitido a la paleoecología evidenciar agentes de perturbación de origen climático y no climático en el comportamiento de las comunidades vegetales en grandes periodos de tiempo, al complementarse con análisis estratigráficos de partículas de carbón de origen vegetal en los sedimentos lacustres. De esta modo, es posible inferir la historia de las perturbaciones naturales y/o de origen antropogénico (Willard & Cronin, 2007), permitiendo explorar la ocurrencia de fuegos pasados y sus efectos sobre la vegetación (Green, 1981; Green 1982), además del impacto provocado en el medio ambiente debido a la manipulación del fuego por parte de poblaciones humanas (Singh y col., 1981).

El desarrollo de esta disciplina requiere de un detallado conocimiento de la morfología de granos de polen y esporas de los diferentes taxa presentes en la zona de estudio para asegurar una correcta interpretación de los registros polínicos. Además, es necesario conocer la ecología regional y la influencia de los controles climáticos sobre las especies y comunidades vegetales (Faegri y Iversen, 1975), y utiliza especies indicadoras cuyas tolerancias climáticas se encuentran bien documentadas (Iversen, 1944). En estos estudios paleoecológicos se seleccionan pequeños cuerpos de agua en cuencas cerradas que maximizan la señal paleoambiental local, obteniéndose una mejor representación de aquellos taxa cuyos granos presentan una dispersión limitada y evitando el ingreso de sedimento externo a la cuenca a través de cauces superficiales (Colin, 1983; Sugita, 1994; Jacobson & Bradshaw, 1981). Todo esto facilita la documentación de los cambios en la vegetación y regímenes de fuego en torno al sitio de estudio, minimizando la señal regional en los sedimentos lacustres.

En el sur de Chile los estudios paleoecológicos y paleoclimáticos se han focalizado principalmente en Patagonia occidental, región que abarca desde la provincia de Llanquihue hasta la Región de Magallanes, entre las latitudes 41° y 56° S. Esta elección se debe a diferentes factores. En primer lugar, la existencia de una gran cantidad de pequeños/medianos lagos y turberas en esta región permiten la generación y comparación de una gran cantidad de registros paleoecológicos. Además, en estas latitudes del hemisferio sur, Patagonia es la única masa continental continua que intercepta el paso de los Vientos del Oeste (Nakamura & Shimpo, 2004). Estos vientos, al interactuar con el efecto orográfico producido por la Cordillera de los Andes, condicionan los regímenes de precipitaciones en esta región (Garreaud y col., 2009), generando un gradiente de humedad oeste-este que va desde ambientes hiperhúmedos sobre al costa del pacífico hasta ambientes semiáridos en las laderas orientales del cordón andino debido al efecto de sombra de lluvia (Garreaud, 2007). Tanto el relieve como la heterogeneidad climática permiten la coexistencia de diferentes tipos forestales en una misma latitud, donde la vegetación se segrega espacialmente a lo largo de gradientes longitudinales y altitudinales (Veblen y col., 1996b) en respuesta a la variación espacial de diferentes factores ambientales, principalmente de la temperatura y la precipitación. Estos tipos forestales pueden distinguirse dentro de los registros paleoecológicos, y en conjunto con otros indicadores sensibles a cambios en los regímenes de precipitación en esta región (fuego), permiten la observación de variaciones climáticas a través del tiempo.

En Patagonia, la expansión y reducción de los mantos de hielo han sido uno de los principales responsables de los procesos naturales de cambio en las comunidades vegetales en la historia geológica reciente (Cuaternario), observándose periodos glaciales e interglaciares alternados cuya duración aproximada es de 120.000 y 14.000 años, respectivamente (Broecker & Denton 1989). Durante el Último Máximo Glacial (UMG), hace aproximadamente 18.000 años, las masas de hielo cubrieron el territorio continental al sur de los 38° S, cubriendo dos tercios de la distribución actual del bosque templado chileno (Armesto y col., 1994), y restringiendo la distribución de las especies vegetales a pequeños “refugios glaciales” localizados principalmente en la Cordillera de la Costa. En la Última Terminación Glacial (UTG), entre 18.000 y 11.700 años, los

mantos de hielo quedaron reducidos a lo largo del cordón andino, dando paso a un incremento de temperaturas y al inicio del actual interglacial (Mercer, 1965). En esa época los bosques comenzaron a expandirse volviendo a colonizar las tierras antes cubiertas por los mantos de hielo, en una dirección de centro-sur hacia Magallanes, y desde la costa hacia la Cordillera de los Andes (Armesto y col., 1994).

Actualmente, uno de los factores de cambio más importantes en la composición de las comunidades vegetales son los eventos de fuego, los que pueden tener su origen en componentes climáticos y no climáticos. El fuego es considerado como una de las perturbaciones más relevantes dentro de los ecosistemas templados al generar grandes claros dentro de bosques cerrados (Kitzberger y col., 1997). Estos claros permiten, en los bosques templados de Sudamérica austral, el incremento y regeneración de especies vegetales sombra-intolerantes como *Nothofagus spp.* siempreverde, *Chusquea spp.* y *Weinmannia trichosperma* (Abarzúa & Moreno, 2008; Lusk, 1999), lo que posibilita que el bosque se mantenga en una etapa de sucesión ecológica temprana debido a la alta frecuencia de perturbaciones, como incendios, volcanismo y eventos sísmicos (Veblen & Ashton, 1978). Aunque los eventos naturales de fuego en bosques templados húmedos se consideran poco comunes por la humedad y las constantes precipitaciones, estas formaciones vegetales resultan susceptibles a incendios en periodos de sequía relacionados con el fenómeno de El Niño (Dennis y col., 2001) y fases positivas del Modo Anular del Sur (Holz & Veblen, 2011).

El volcanismo y la acción humana son algunos de los factores ambientales no climáticos más importantes responsables de condicionar la ecología de las especies vegetales al incrementar los eventos de fuego en esta región (Henríquez y col., 2015). El volcanismo resulta ser una potencial fuente de ignición fuertemente presente en la zona, la cual es capaz de generar una gran cantidad de biomasa muerta a modo de combustible que favorece y altera los regímenes de fuego a escala local varios años después de la actividad volcánica (Wilmshurst & McGlone, 1996). Mientras que la actividad humana ha modificado la incidencia, intensidad y extensión de los fuegos en todas las regiones del mundo (Power y col., 2008; Daniau y col, 2012; Jaksic & Fariña, 2015).

Dentro de Patagonia occidental, específicamente en la Región de Aysén, los registros arqueológicos indican la presencia de asentamientos humanos en los bosques patagónicos hace aproximadamente 6000 años cal AP (Méndez y col., 2016). El uso de los bosques en ese entonces se describe, según Borreno (2004), como un uso discontinuo, ya que eran ocupados estacionalmente por cazadores recolectores asociados a poblaciones humanas asentadas en la estepa, en la ladera oriental de la Cordillera de los Andes. Estas poblaciones pueden haber intensificado su ocupación durante ciertos periodos, pero siempre de manera complementaria a la estepa (Méndez y Reyes, 2008), por lo que se infiere una baja manipulación del paisaje en los bosques templados a partir de estos asentamientos humanos. Las primeras exploraciones europeas en esta región se realizaron a finales del siglo XIX dando comienzo al proceso de colonización (Rosselot, 1894). Este proceso se basó principalmente en la apertura del bosque a través de quema indiscriminada, lo que fue promovido a través de políticas públicas hasta el año 1950 para fomentar la actividad ganadera y forestal en la zona, alcanzando 2.800.000 hectáreas carbonizadas (Bizama y col., 2011).

Mi seminario de título se centra en la cuenca de Lago Negro ($43^{\circ}58'17.7''S$ $72^{\circ}16'10.7''O$, 82 msnm), un pequeño lago de cuenca cerrada ubicado a 11 km al oriente del pueblo de La Junta, en el extremo noreste de la Región de Aysén. Mediante análisis de polen fósil y partículas de carbón preservados en testigos sedimentarios del fondo de Lago Negro, examino el comportamiento de las comunidades vegetales y regímenes de fuego a escala local a través del tiempo. Registros históricos de la región indican que la zona norte de la Región de Aysén fue una de las zonas más recientemente colonizadas, comenzando este proceso recién a fines de la década de 1940, fundándose La Junta en 1963. El desarrollo de este poblado se debió a la inauguración del segmento central de la Carretera Austral a inicio de la década de 1980 (Palacios, 2009), por lo que se espera que el estudio de la cuenca de Lago Negro de cuenta del comportamiento de la vegetación al ser afectada casi exclusivamente por perturbaciones naturales en la época actual, debido a una perturbación antrópica muy reciente. Esta cuenca se encuentra dentro del territorio continental adyacente al Golfo Corcovado, el cual abarca entre Punta Vilcún e Isla

Refugio, desde los 42°50' S hasta los 44° 00' S, formando parte de la zona sureste de la Región de los Lagos y norte de la Región de Aysén. Este territorio representa uno de los sectores de Patagonia menos estudiados por la paleoecología. Fomentar el desarrollo de esta disciplina en esta zona depende de un detallado conocimiento de su palinoflora local y regional, esto debido a que la correcta identificación de los microfósiles en los registros sedimentarios es fundamental para generar interpretaciones paleoambientales fiables.

OBJETIVO GENERAL

Documentar cambios en la vegetación y eventos de fuego en la cuenca de Lago Negro (43°58'17.7" S 72°16'10.7" O) durante los últimos 1800 años, y generar material de referencia de los tipos polínicos actuales presentes en la zona que aporten a una correcta identificación e interpretación de los registros sedimentarios.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Desarrollar un registro de polen y carbón fósil que permita documentar la historia de la vegetación y fuego en la cuenca de Lago Negro durante los últimos 1800 años.
- II. Examinar la eventual perturbación de la vegetación por fuego o volcanismo explosivo durante los últimos 1800 años.
- III. Caracterizar los granos de polen y esporas de especies vegetales presentes en la zona de Lago Negro, generando material gráfico de calidad.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca de Lago Negro se encuentra en las coordenadas $43^{\circ}58'17.7''$ S, $72^{\circ}16'10.7''$ O, cercano a río Palena y Claro Solar, a aproximadamente 3 km de lago Rosselot y 11 km al oriente del pueblo de La Junta. Su cuenca se sitúa en el Valle del Palena Medio, Comuna de Cisnes, Región de Aysén, dentro del territorio aquí denominado Golfo Corcovado (Figura 1). Su geografía está compuesta por una Cordillera de los Andes de 2000 m de elevación promedio, con una gran cantidad de centros eruptivos que sobrepasan la altura del cordón andino (Villagrán y col., 1993). La Depresión Intermedia se encuentra ausente en esta zona, al sur de los 42° S.

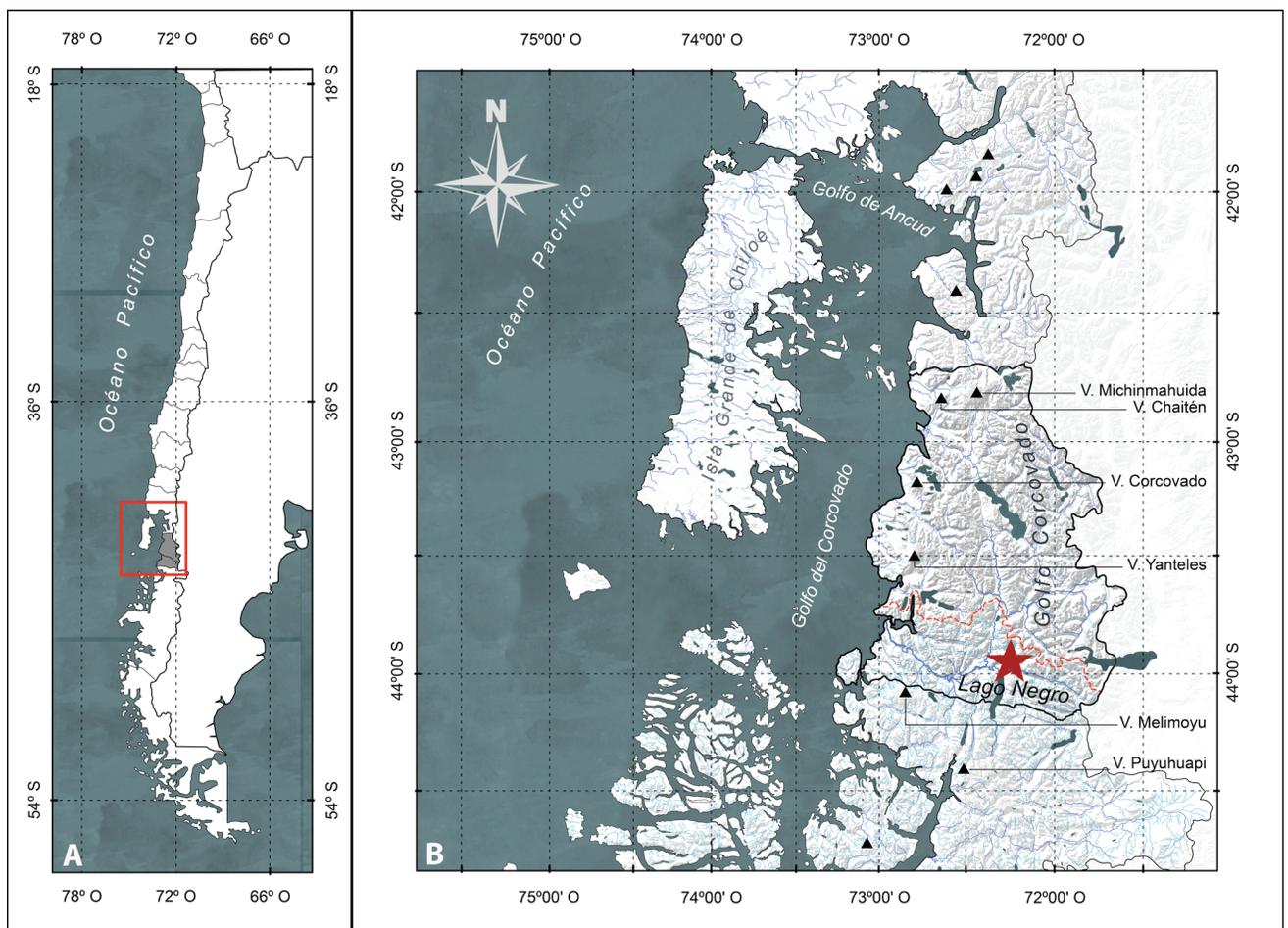


Figura 1. Ubicación de Lago Negro dentro de Golfo Corcovado. a) Mapa de Chile. b) Mapa de Golfo Corcovado, indicando volcanes presentes en el sector y la ubicación de Lago Negro.

Tanto la Región de los Lagos como la Región de Aysén forman parte de la Zona Volcánica del Sur (ZVS), la cual abarca desde los 33° a los 46° S, incluyendo al menos 60 centros volcánicos en Chile y Argentina, como resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana (Stern, 2004). Esta zona se caracteriza por presentar el mayor vigor eruptivo en Chile (González-Ferrán, 1995), habiéndose documentado un total de 62 erupciones volcánicas a partir de 48 volcanes de la ZVS durante el Holoceno (Naranjo y col., 2001; Naranjo & Stern, 1998 y 2004). Dentro del Golfo Corcovado, cercanos a Lago Negro, se encuentran seis centros volcánicos: Michinmahuida (42°48' S, 72°27' O, 2.405 msnm), Chaitén (42°49' S, 72°38' O, 965 msnm), Corcovado (43°11' S, 72°47' O, 2.300 msnm), Yanteles (43°30' S, 72°48' O, 2.960 msnm), Melimoyu (44°04' S, 72°52' O, 2400 msnm), y el conjunto volcánico Puyuhuapi (44°20' S y 72°34' O, 524 msnm).

Golfo Corcovado se sitúa dentro del área de influencia del Cinturón de los Vientos del Oeste (CVO) del hemisferio sur. Los Vientos del Oeste fluyen en dirección oeste-este entre las latitudes 30° y 60°, permitiendo el transporte de calor desde el ecuador hacia los polos a través de un gradiente de presión generado por el contraste de temperaturas. Estos vientos son un importante componente de la circulación atmosférica a escala planetaria al influir directamente en las precipitaciones en latitudes medias del planeta (Toggweiler 2009). La influencia del CVO, y la presencia de la cordillera de los Andes, contribuyen en esta región a la presencia de intensas precipitaciones y prolongada nubosidad a lo largo del año (Heusser y col., 1992), dando lugar a un clima templado húmedo y a bosques templado-lluviosos. El efecto orográfico de la Cordillera de los Andes genera un gradiente de humedad oeste-este que va desde ambientes hiperhúmedos sobre la costa del Pacífico hasta ambientes semiáridos en las laderas orientales del cordón andino debido al efecto de sombra de lluvia (Garreaud, 2007). Actualmente, Golfo Corcovado se caracteriza por una alta pluviosidad, alcanzando 2.165 mm de precipitación media anual, con más del 30% del agua caída durante los meses de verano (Figura 2), registrado en la estación meteorológica de La Junta (43°58'14.9" S, 72°27'02.0" O, 45 msnm. Explorador Climático (CR)²; <http://explorador.cr2.cl>). La temperatura media anual es de 9° C, oscilando entre 12° C en verano y 6° C en invierno, encontrándose temperaturas más

extremas en la zona cordillerana debido al aumento de la continentalidad (Explorador Climático CR², Estación meteorológica Chaitén, 42°55'49.1" S, 72°42'02.9" O, 10 msnm; Futaleufú, 43°11'20.0" S, 71°49'21.0" O, 347 msnm; Palena 43°42'59.4" S, 71°47'02.0" O).

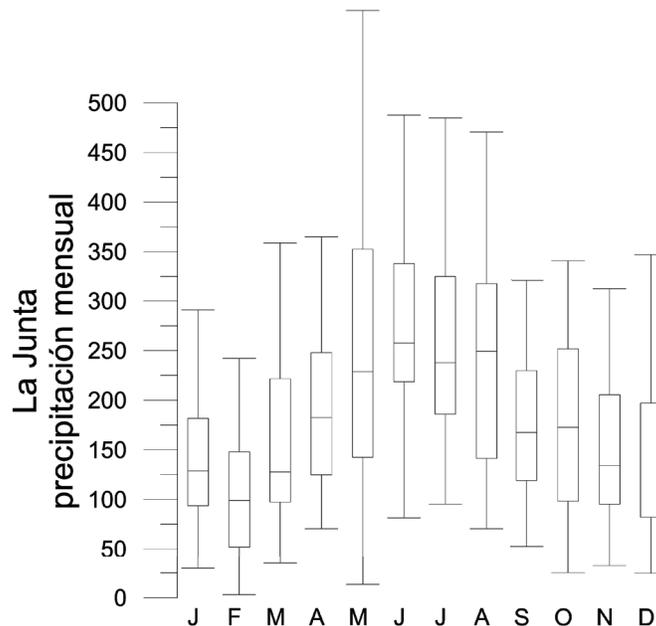


Figura 2. Precipitación media mensual registrada por la estación meteorológica de La Junta (43°58'14.9" S, 72°27'02.0" O, Explorador Climático CR²) entre el periodo 1981 - 2018. Eje X e Y muestran meses del año y precipitación media mensual (mm), respectivamente.

A nivel regional, tanto el relieve como la heterogeneidad climática crean una gran diversidad de ambientes, donde la vegetación se segrega espacialmente a lo largo de gradientes latitudinales, longitudinales y altitudinales (Veblen y col., 1996b). De dicha segregación se destacan tres tipos forestales en relación norte-sur; el Bosque Valdiviano (38°-43° S), el Bosque Nordpatagónico (43°-47° S) y el Bosque Subantártico (47°-55° S). Los límites altitudinales de estos tipos forestales disminuyen hacia mayores latitudes (Schmithüsen, 1956), y presentan un predominio de especies perennifolias, existiendo un componente caducifolio en sectores donde las fluctuaciones de temperatura y las sequías estivales son más pronunciadas (Veblen y col., 1996a).

El Bosque Valdiviano es el de mayor diversidad en especies arbóreas, presentando además una gran abundancia de epífitas, helechos, musgos y líquenes. En estas latitudes

las heladas no suelen ser comunes, y las precipitaciones son abundantes pero con un carácter estacional, disminuyendo considerablemente en los meses de verano. Dentro de este tipo forestal, la asociación Coigüe-Ulmo es la más representativa, encontrándose tanto en la Cordillera de los Andes como en la Cordillera de la Costa, entre los 200 y 400 msnm, con especies características como *Nothofagus dombeyi*, *Eucryphia cordifolia*, *Caldcluvia paniculata*, *Gevuina avellana*, *Lomatia hirsuta* y *Rhaphithamnus spinosus*. El Bosque Nordpatagónico aparece por sobre los 400 msnm en ambas cordilleras, con dominancia de *Nothofagus dombeyi* en la Cordillera de los Andes y *Nothofagus nitida* en la Cordillera de la Costa. Este tipo forestal se caracteriza por la presencia de especies resistentes a temperaturas más bajas y a mayores regímenes de precipitación, como *Drimys winteri*, *Laurelia philippiana*, *Amomyrtus luma* y *Weinmannia trichosperma*. Las coníferas resistentes al frío *Saxegothaea conspicua*, *Podocarpus nubigena*, *Fitzroya cupressoides* y *Pilgerodendron uviferum* se vuelven un elemento importante de este bosque a mayores altitudes, llegando a dominar el estrato arbóreo por sobre los 500 msnm. El Bosque Subantártico se encuentra en sectores altos de ambas cordilleras, estando más representado en la Cordillera de la Costa. En la Cordillera de los Andes este tipo forestal se encuentra dominado por *Nothofagus betuloides* en conjunto con tundras magallánicas y plantas en cojín (Villagrán y col., 1993). Por sobre los 800 msnm es posible encontrar la variante bosque deciduo subantártico (Schmithüsen, 1956), el cual se compone por un estrato arbóreo monoespecífico compuesto por *Nothofagus pumilio*, y un sotobosque pobre en especies. Este tipo forestal se desenvuelve en un clima de montaña con temperaturas bajas y altas precipitaciones que caen principalmente en forma de nieve.

En el sector de Lago Negro la vegetación se encuentra dominada por el bosque templado húmedo, en una transición entre Bosque Valdiviano y Bosque Nordpatagónico (Oberdorfer, 1960; Schmithüsen, 1956). Según Luebert & Pliscoff (2018), en este sector, la vegetación se encuentra dominada por especies de *Nothofagus* desde los 0 a 1200 msnm en ambas laderas de la Cordillera de los Andes, con una transición gradual de pisos de vegetación de bosque a estepa a una mayor elevación, principalmente en la ladera occidental.

SECCIÓN 1. ESTUDIO DEL REGISTRO SEDIMENTARIO DE LA CUENCA DE LAGO NEGRO

INTRODUCCIÓN

La aceleración del cambio climático ha aumentado el interés en los estudios paleoambientales con el objeto de conocer la variabilidad natural del clima y sus efectos sobre el medio ambiente. La paleoecología ofrece una aproximación a las condiciones ambientales y climáticas pasadas, al utilizar diferentes indicadores paleoambientales, como granos de polen y esporas, que permiten identificar la composición de las comunidades biológicas en el pasado.

En el sur de Chile estos estudios se han focalizado principalmente en Patagonia, donde la expansión y reducción de los mantos de hielo y los eventos de fuego son los principales factores de origen climático responsables de los procesos de cambio en las comunidades vegetales, considerando el volcanismo y la acción humana como los factores ambientales no climáticos más importantes al incrementar los eventos de fuego en esta región.

La primera sección de este seminario de título se focaliza en la cuenca de Lago Negro (43°58'17.7"S 72°16'10.7"O, 82 msnm) ubicada en el extremo noreste de la Región de Aysén. Mediante análisis de polen fósil y partículas de carbón preservados en testigos sedimentarios del fondo de Lago Negro, examino el comportamiento de las comunidades vegetales y regímenes de fuego a escala local a través del tiempo. Registros históricos de la región indican que la zona norte de la Región de Aysén fue una de las zonas más recientemente colonizadas, fundándose La Junta recién en 1963. El desarrollo actual de este poblado se debió a la inauguración del segmento central de la Carretera Austral a inicio de la década de 1980 (Palacios, 2009), por lo que se espera que el estudio de la cuenca de Lago Negro de cuenta del comportamiento de la vegetación al ser afectada casi exclusivamente por perturbaciones naturales en la época actual.

METODOLOGÍA

OBTENCIÓN DEL REGISTRO SEDIMENTARIO

En marzo de 2016 se obtuvieron dos testigos cortos de sedimento lacustre que incluyen la interfase agua-sedimento, a 14,46 m de profundidad en Lago Negro (Figura 3). La obtención de los testigos se realizó con un barreno de pistón equipado con una cámara transparente de plástico de 7,5 cm de diámetro. Ambos testigos fueron muestreados in-situ en intervalos de 1 cm, siendo empaquetados, rotulados y posteriormente almacenados en la cámara fría del Laboratorio de Paleoecología Cuaternaria a 4°C.

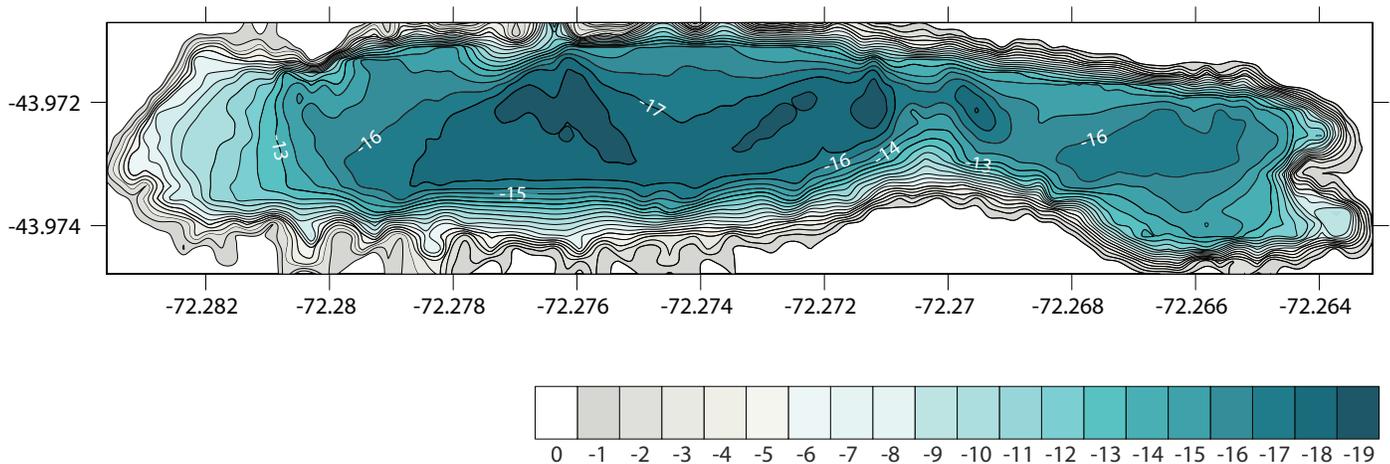


Figura 3. Batimetría de Lago Negro. El eje X e Y muestran las coordenadas del lago. La profundidad está medida en metros bajo la superficie.

ESTRATIGRAFÍA Y CRONOLOGÍA

La caracterización estratigráfica de los testigos sedimentarios la realicé a través de observaciones litológicas y análisis de Pérdida por Ignición (PPI). Este análisis consistió en un muestreo continuo-contiguo de 1 cc de sedimento para cada centímetro, y la

posterior deshidratación y quema de las muestras a 105°C, 550°C y 925° C por 16, 2 y 4 horas, respectivamente (Heiri y col., 2001), utilizando una estufa SHELDON 1370 GX y una Mufla THERMOLYNE 30400. De esta manera se cuantificó la concentración de materia orgánica e inorgánica presentes en los sedimentos, posibilitando la correlación de ambos testigos. Este análisis además permitió definir los centímetros a ser considerados para análisis polínico y carbón macroscópico, donde se excluyeron los niveles de tefra; estos niveles corresponden a depósitos de material piroclástico generado durante erupciones volcánicas explosivas (Alloway y col., 2013), y se caracterizan por poseer una alta concentración de materia inorgánica, con valores superiores al 90%.

La cronología del registro sedimentario se basa en dataciones radiocarbónicas AMS (Accelerator Mass Spectrometry) obtenidas a partir de muestras de 2 cc de sedimento orgánico, secados en una estufa a 105° C por 24 horas para obtener el peso del sedimento seco, el cual fue etiquetado y enviado a *Lawrence Livermore National Laboratory, USA* para su análisis isotópico. De manera complementaria, se consideró el análisis de macrorrestos vegetales en 2 cc de sedimento, los que no se encontraron en ninguno de los niveles a datar. El modelo de edad se generó a partir de la base de datos SHcal04 en el paquete BACON (Blaauw & Christen, 2011) del programa R.

ANÁLISIS DEL TESTIGO LACUSTRE

El análisis de los sedimentos consistió en el estudio estratigráfico de polen fósil y partículas macro y microscópicas de carbón de origen vegetal.

El análisis polínico se llevó a cabo sobre muestras de 1 cc de sedimento, obtenidas de forma continua-contigua desde secciones de 1 cm de espesor. Las muestras fueron procesadas a partir de un protocolo estándar para la observación de palinomorfos en microscopía óptica (Faegri & Iversen, 1989). Este protocolo consiste en KOH 10% a modo de defloculante, HCl 10% para la extracción de sulfatos y carbonatos, tamizado (<120 µm), HF 40% para la extracción de silicatos, acetólisis para la extracción de la

materia orgánica y terbutanol para la deshidratación del concentrado. Se añadieron tabletas con esporas exóticas de *Lycopodium* para el cálculo de las concentraciones y se agregó aceite de silicona como medio de montaje para su posterior observación.

El conteo se realizó en un microscopio óptico con aumento 400x, contando un mínimo de 300 granos de polen terrestre (polen de gimnospermas y angiospermas terrestres) por cada nivel, además de esporas de *Lycopodium* exótico y partículas microscópicas de carbón (Birks & Gorton, 1985). El análisis de estos datos consistió en el cálculo de la porcentaje y tasa de cambio polínico.

El cálculo del porcentaje polínico corresponde a la relación porcentual de los taxa polínicos con respecto al total de diferentes sumas. El porcentaje de taxa terrestres se calculó a partir de la suma de granos de polen de gimnospermas y angiospermas terrestres (polen terrestre). El porcentaje de plantas acuáticas se calculó con la suma total de polen (polen terrestre + acuáticas) y el porcentaje de helechos a partir del total de polen y esporas (polen terrestre + acuáticas + esporas).

El registro polínico fue dividido en diferentes zonas de análisis para facilitar la descripción de los resultados. Esta zonación se realizó a partir del análisis CONISS (Constrained Incremental Sum of Squares), que corresponde al coeficiente de similitud de los ensambles polínicos restringidos estratigráficamente, el cual se compuso sólo de aquellos taxa terrestres cuya abundancia relativa fuera \geq al 2%. En el cálculo de la tasa de cambio polínico se utilizaron estos mismos datos suavizados con una media móvil de cinco muestras para eliminar las variaciones de corto plazo producidas por fenómenos azarosos, los que se interpolaron en intervalos equidistantes de 150 años. Este parámetro representa la distancia o diferencia entre los porcentajes polínicos en una periodo de tiempo, y es mayor conforme más distintos son dichos porcentajes. La tasa de cambio es entonces el coeficiente de disimilitud entre dos muestras (centímetros) de una serie temporal, dividida por el intervalo de tiempo entre las muestras (Overpeck y col., 1985), y grafica la rapidez en que suceden los cambios palinológicos, independiente de la dirección y naturaleza de estos cambios. Finalmente los resultados fueron presentados en un diagrama de porcentaje polínico realizados mediante el software Tilia.

Los granos de polen fueron identificados gracias a la literatura (Heusser, 1971; Villagrán, 1980), y a las muestras de referencia presentes en el laboratorio. Debido al límite de resolución del microscopio óptico (cercano a 0,2 μm) la identificación de los taxa polínicos se realizó principalmente a nivel de familia y género, siendo posible llegar al nivel de especie en algunos palinomorfos como *Aristotelia chilensis*, *Weinmannia trichosperma*, *Drimys winteri*, *Fuchsia magellanica*, *Embothrium coccineum*, *Saxegothaea conspicua*, y *Polypodium feuillei*. En el caso de los granos del género *Nothofagus*, estos se diferencian en dos tipos a partir de sus características morfológicas; tipo *dombeyi*, que considera los granos de *Nothofagus dombeyi*, *N. nitida*, *N. pumilio*, *N. antarctica*, *N. alessandri* y *N. betuloides*; y tipo *obliqua*, que corresponde a los granos de *Nothofagus obliqua*, *N. glauca* y *N. alpina*. También se consideran algunos morfotipos como *Eucryphia/Caldcluvia*, *Fitzroya/Pilgerodendron* y *Lomatia/Gevuina* donde, debido a la similitud de sus granos, no fue posible diferenciarlos a nivel de especie.

El análisis de carbón macroscópico ($>106\mu\text{m}$) se realizó a partir de un muestreo continuo-contiguo de 2cc se sedimento a partir de secciones de 1 cm de espesor. En el procesamiento se utilizó una solución de KOH al 10% a modo de defloculante de los sedimentos, los que se separaron según el tamaño a través de un tamiz de 106 y 212 μm . El conteo de las partículas macroscópicas se realizó a través de una lupa Carl Zeiss KL1500 LCD, obteniendo datos de concentración de partículas de carbón (partículas de carbón/cc) y su tasa de acumulación (partículas * año⁻¹ * cm⁻²) (Wright, 1974). Las partículas macroscópicas de carbón fueron identificadas de manera visual, siendo caracterizadas por un color grafito y borde angular (Figura 4). Estas partículas son fáciles de romper, y se quiebran de manera astillada.

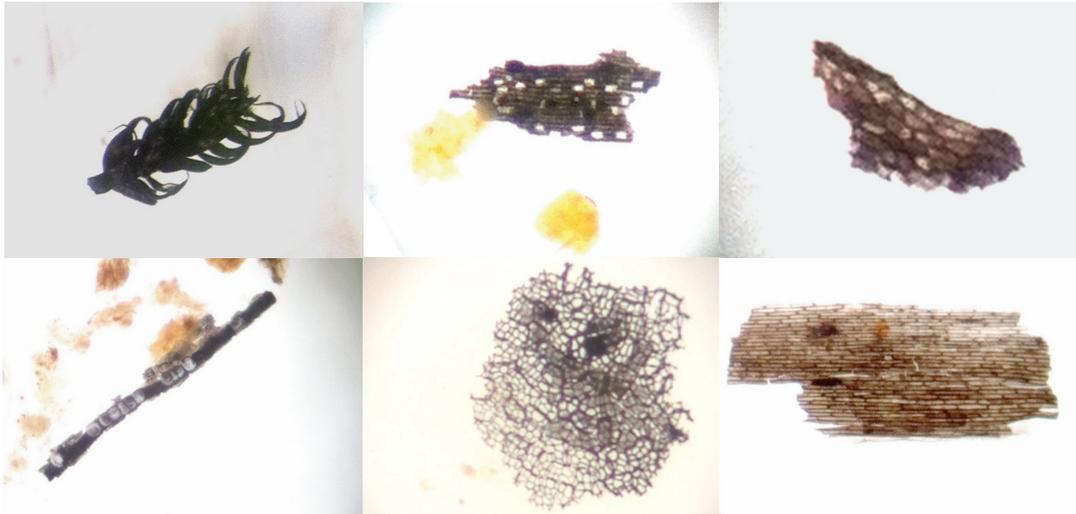


Figura 4. Fotografías de partículas macroscópicas de carbón vegetal observadas a la lupa. Las fotografías fueron tomadas en aumentos de 32 a 50x.

RESULTADOS

ESTRATIGRAFÍA Y CRONOLOGÍA

Los testigos GC1603SC1 y GC1603SC2 se obtuvieron en marzo de 2016 y ambos poseen una longitud aproximada de 1 m. El análisis estratigráfico (PPI) permitió correlacionar ambos testigos e integrarlos en una escala de longitud común de 131 cm incluyendo tefras (Figura 5).

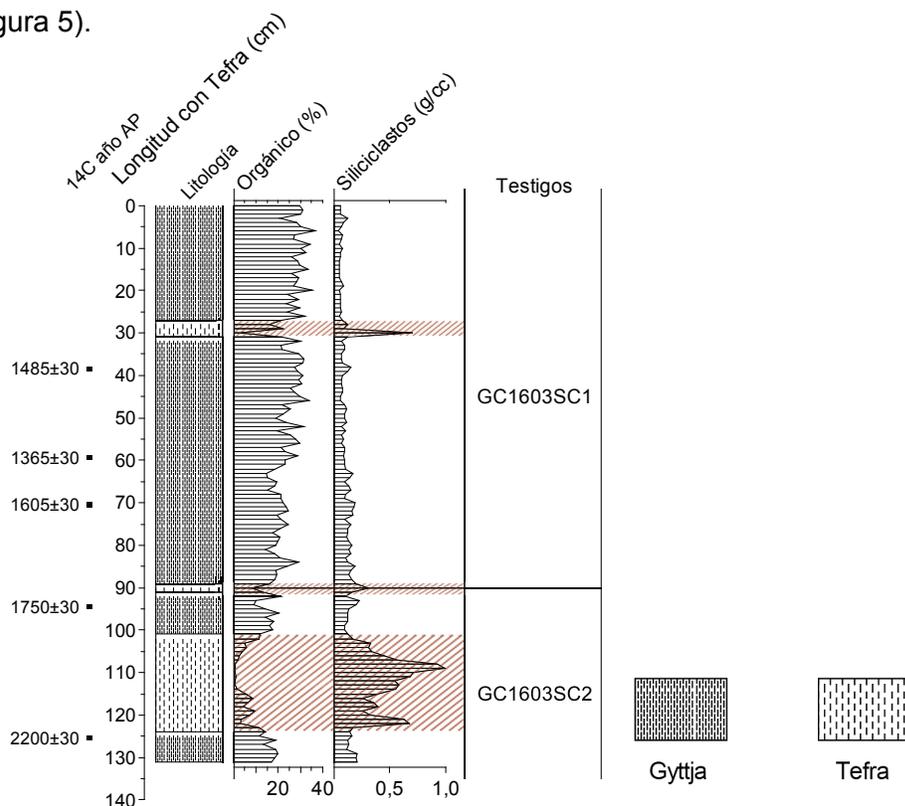


Figura 5. Porcentaje materia orgánica y densidad de siliciclastos en la columna estratigráfica del registro sedimentario de Lago Negro. La línea continua que divide el diagrama muestra la correlación de ambos testigos, perteneciendo los primeros 90 cm al testigo GC1603SC1, y los siguientes 41 cm a GC1603SC2. Las zonas achuradas indican la presencia de tefra.

Los sedimentos presentes en los testigos consisten principalmente en limo orgánico lacustre (Gytja), identificando 3 tefras, las que se diferencian por un aumento del tamaño del grano y un bajo porcentaje de materia orgánica (Figura 5). Las tefras más recientes se encuentran en los centímetros 28 y 90 de longitud integrada con tefra, y se caracterizan

por un sedimento compuesto por gránulos oscuros. La tercera tefra se encuentra en el centímetro 104 de longitud, y se caracteriza por un tamaño creciente del grano que va desde gránulo a grava, y presenta una coloración grisácea. Estas tefras poseen 3, 2 y 20 cm de espesor, respectivamente (Figura 5, Tabla 2).

La cronología del registro sedimentario de Lago Negro se llevó a cabo a través de cinco dataciones radiocarbónicas AMS (Tabla 1). Estas dataciones muestran un rango máximo de 1707 años calendario antes del presente (cal AP, AP=1950 DC) para el centímetro 125 de longitud integrada con tefra. El modelo de edad (Figura 6) considera una depositación instantánea de los niveles de tefra, por lo que se eliminaron estos centímetros en la longitud integrada para las dataciones radiocarbónicas, comprimiéndolas dentro de una longitud inferior a 1 centímetro. El tiempo de depositación promedio es de 17,9 años/cm, y se establece una extensión temporal de 1830 años cal AP en el centímetro 131.

Tabla 1. Dataciones radiocarbónicas para Lago Negro.

Código de laboratorio	Testigo	Longitud integrada con tefra (cm)	Longitud integrada sin tefra (cm)	Años ¹⁴ C AP ±1 σ de error	Años cal AP (mediana)	Min-Max intercepto (años cal AP)	Material datado
CAMS-179267	GC1603SC1	38	35	1485 ± 30	1244	1125,4 - 1343,4	Bulk
CAMS-179268	GC1603SC1	59	56	1365 ± 30	1009,3	726.5 - 1212.7	Bulk
CAMS-179307	GC1603SC1	70	67	1605 ± 30	1339,7	1270,3 - 1428,8	Bulk
CAMS-179269	GC1603SC2	94	87	1750 ± 30	1545,3	1417,5 - 1659,9	Bulk
CAMS-179270	GC1603SC2	125	98	2200 ± 30	1707,7	1605,8 - 1816,2	Bulk

Tabla 2. Tefras presentes en el registro sedimentario de Lago Negro.

Tefra	Testigo	Longitud integrada con tefra (cm)	Mediana de la probabilidad interpolada (años cal AP)	Espesor (cm)
LN-1	GC1603SC1	29-31	820	3
LN-2	GC1603SC1	90-91	1550	2
LN-3	GC1603SC2	104-123	1720	20

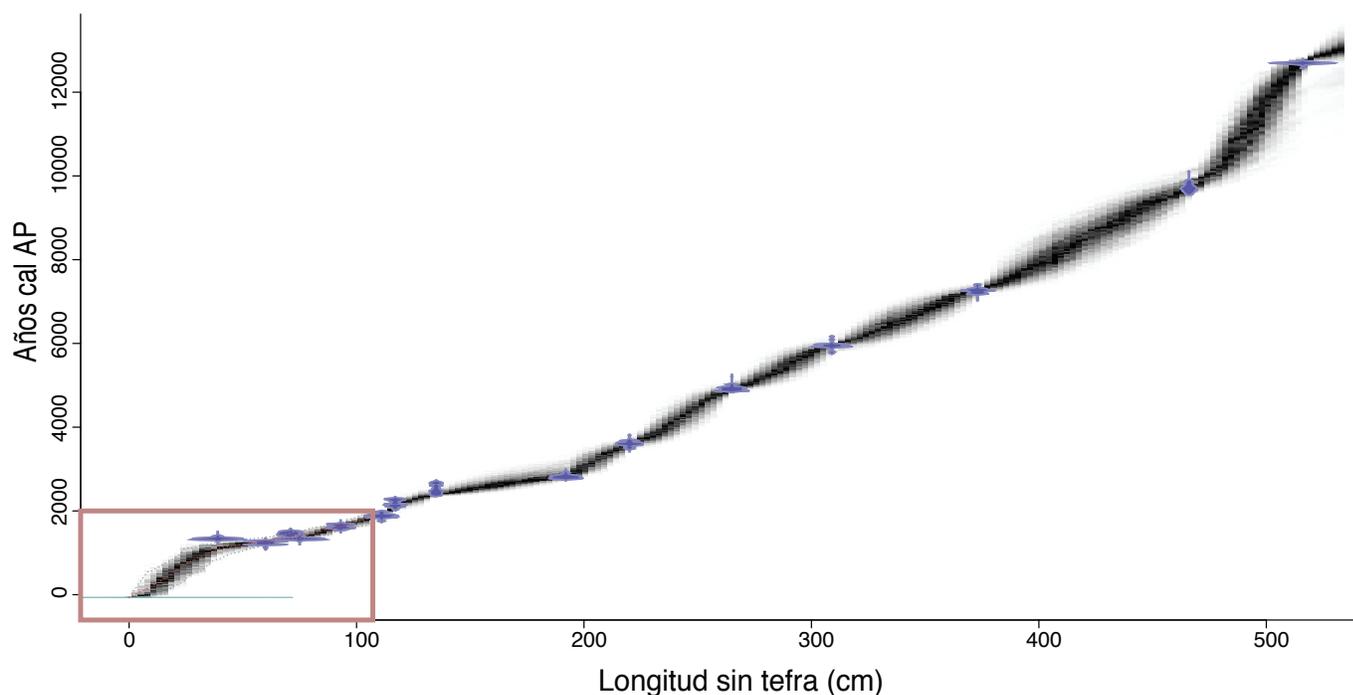


Figura 6. Modelo de edad del registro sedimentario de Lago Negro, considerando los testigos cortos y largos extraídos el verano del 2016 y 2017, respectivamente. El rectángulo señala las dataciones correspondientes a los testigos cortos GC1603SC1 y GC1603SC2.

ANÁLISIS POLÍNICO

El registro de polen fósil de Lago Negro consta de 107 centímetros de sedimento orgánico, los cuales fueron divididos en seis zonas a partir del análisis CONISS del software Tilia. Los resultados se encuentran expresados en un diagrama de porcentaje polínico que incluye la abundancia relativa de los taxa identificados a lo largo del registro sedimentario (Figura 7, 8, y 9). A continuación se describen cada una de las zonas polínicas delimitadas, indicando su profundidad, rango de edad y especies dominantes con su valor promedio expresado entre paréntesis.

Zona Negro-1 (131-128 cm; 1830-1800 años cal AP). Esta zona se encuentra dominada por *Nothofagus tipo dombeyi* (66%), *Weinmannia trichosperma* (5,8%), *Hydrangea* (4,6%),

y *Saxegothaea conspicua* (3,5%) en el estrato arbóreo, mientras que Poaceae (1,7%) domina en los estratos inferiores, en conjunto con los helechos del género *Blechnum* (5,8%). El registro inicia con un aumento de *Nothofagus* tipo *dombeyi* (de 59 a 74,2%), el cual alcanza a los 1800 años cal AP uno de su peak de mayor abundancia en el registro estratigráfico. Dentro de esta zona se observa una disminución de *Hydrangea* (de 4,8 a 3,3%), Myrtaceae (de 3,2 a 2,7%), *Blechnum* (de 6,3 a 3,9%) e Hymenophyllaceae (de 2,1 a 0,3%).

Zona Negro-2 (128-94 cm; 1780-1590 años cal AP). *Nothofagus* tipo *dombeyi* (47,3%) se mantiene como especie dominante, en conjunto con *Weinmannia trichosperma* (13,6%), *Hydrangea* (10,6%), *Eucryphia/Caldcluvia* (3,2%), *Saxegothaea conspicua* (3,1%), Myrtaceae (2,9%) y *Misodendrum* (2,1%). En el sotobosque dominan Poaceae (3,1%) y *Blechnum* (4,2%). *Nothofagus* tipo *dombeyi* disminuye desde uno de sus picos más altos hasta su mínimo en todo el registro (de 70,7% a 28%) entre los 1780 y 1720 años cal AP, disminuyendo su abundancia en un 42,7%, volviendo a aumentar hasta un 58% de abundancia al final de esta zona. *Hydrangea* (20%), *Weinmannia trichosperma* (19,4%), *Eucryphia/Caldcluvia* (6,3%) y Myrtaceae (5,1%) aumentan su abundancia entre el centímetro 100 y 99 (1720 años cal AP), donde *Eucryphia/Caldcluvia* alcanza su máxima abundancia dentro de todo el registro. *Blechnum* presenta una disminución puntual de su abundancia en el centímetro 100 (de 6,5 a 0,6%). *Polypodium feullei* presenta un aumento en su abundancia en los centímetros 97-96 (1690 años cal AP), mientras que Cyperaceae comienza con un aumento notorio que luego disminuye de manera constante en esta zona (de 1,6 a 0,3%). *Hydrangea* disminuye hasta alcanzar su menor abundancia dentro del registro (1,9%).

Zona Negro-3 (94-69 cm; 1570-1340 años cal AP). Los taxa dominantes en esta zona son *Nothofagus* tipo *dombeyi* (56%), *Hydrangea* (8,9%), *Weinmannia trichosperma* (8,7%), *Saxegothaea conspicua* (4,6%), Myrtaceae (2,6%) y *Misodendrum* (2,2%). Además de Poaceae (2,7%) y *Blechnum* (4,9%) en los estratos inferiores de vegetación. En esta zona *Aristolelia chilensis* alcanza su máxima abundancia (2,6%), al igual que *Blechnum* (11,4%).

Zona Negro-4 (69-38 cm; 1330-1020 años cal AP). Esta zona se encuentra dominada por *Nothofagus* tipo *dombeyi* (49,6%), *Hydrangea* (10,8%), *Weinmannia trichosperma* (9,6%), *Saxegothaea conspicua* (5,6%), Myrtaceae (3,7%) y *Misodendrum* (2,1%), además de Poaceae (3,8%) y *Blechnum* (3,4%) en el estrato inferior. *Nothofagus* tipo *dombeyi* alcanza su segundo peak más bajo (28,5%) a los 1260 años cal AP, seguido de su peak máximo en el registro (75,1%) a los 1020 años cal AP. Myrtaceae llega a su máxima abundancia (7%)

Zona Negro-5 (35-6 cm; 1000-120 años cal AP). *Nothofagus* tipo *dombeyi* (44,2%) domina el estrato arbóreo en conjunto con *Hydrangea* (16,2%), *Weinmannia trichosperma* (10,1%), *Saxegothaea conspicua* (7,2%), Myrtaceae (3,6%) y *Misodendrum* (2,7%). Mientras que Poaceae (2,8%) y *Blechnum* (2,3%) dominan el sotobosque. *Fitzroya/Pilgerodendron* alcanza su máximo en esta zona (3%) al igual que *Weinmannia trichosperma* (23,2%) e *Hydrangea* (26%).

Zona Negro 6 (6-0 cm; 90- -70 años cal AP). Los taxa dominantes en esta zona son *Nothofagus* tipo *dombeyi* (46%), *Hydrangea* (16,1%), *Saxegothaea conspicua* (6,2%), *Weinmannia trichosperma* (5,6%), Myrtaceae (2,6%) y *Misodendrum* (2,4%). Con Poaceae (4,9%) y *Blechnum* (2,1%) en el estrato arbustivo, además del taxa acuático Cyperaceae (2,1%). *Saxegothaea conspicua* alcanza su máximo en esta zona (14%) al igual que *Podocarpus nubigena* (4,2%) y Poaceae (11,7%).

De manera general dentro del registro se observa un aumento progresivo en la abundancia de *Pediastrum* (de 0% en la zona 1 a 1,1% en la zona 6), y Cyperaceae (de 0,63 a 2,1%). *Blechnum* disminuye su abundancia progresivamente desde los centímetros inferiores hasta la actualidad (de 5,80 a 2,06%). La abundancia de *Weinmannia trichosperma* disminuye hasta la actualidad (con un promedio de 13,56% en la zona 2, hasta 5,60% en la zona 6), *Hydrangea* aumenta (de 4,63% en la zona 1 a 16,09% en la zona 6), y *Nothofagus* tipo *dombeyi* disminuye (de un 65,67% en la zona 1 a un 45,97% en la zona 6).

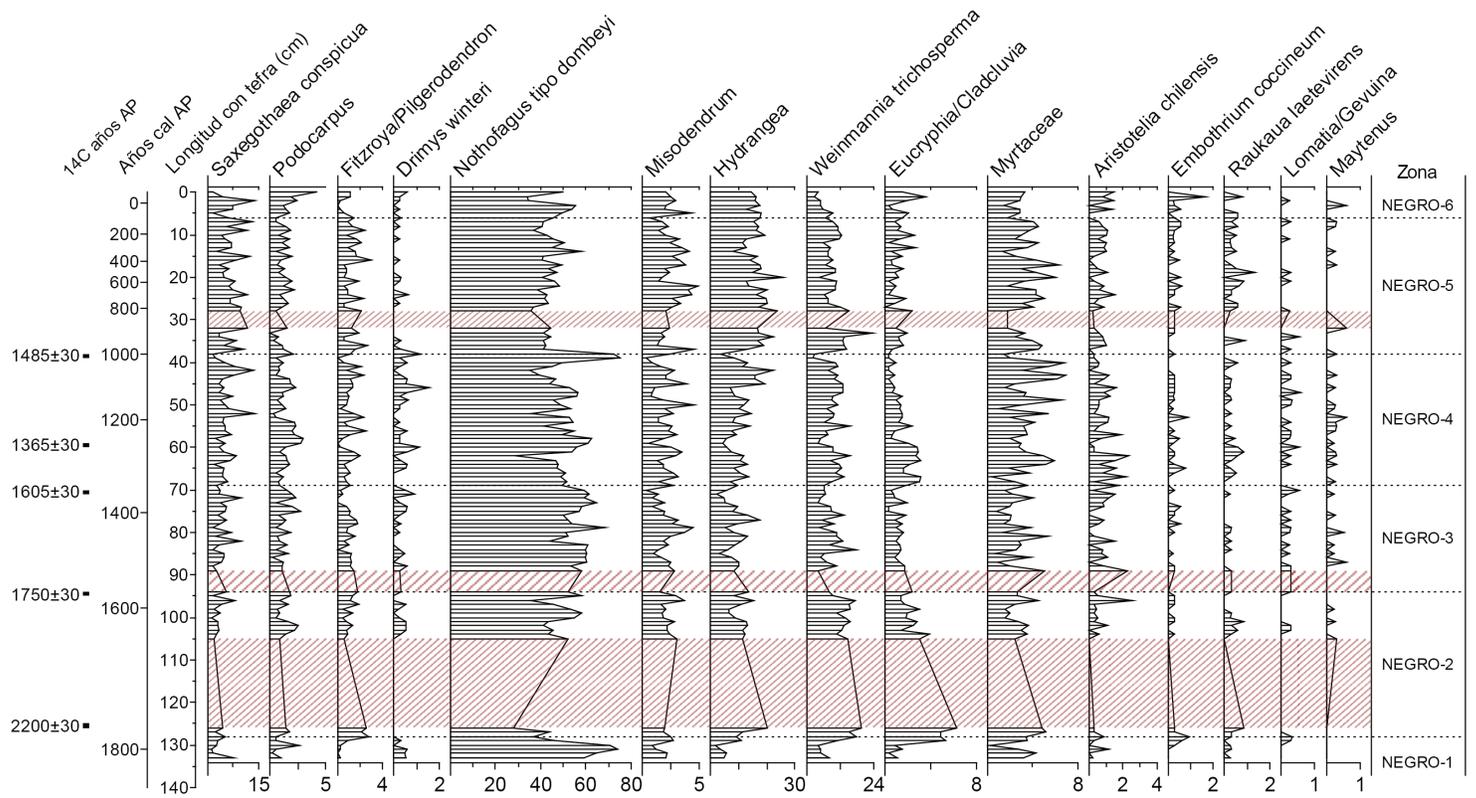


Figura 7. Diagrama de porcentaje polínico de los principales taxa arbóreos presentes en Lago Negro. Los ejes X representan la abundancia relativa de los taxa encontrados en el registro sedimentario. Los ejes Y se componen por los años calendario antes del presente y la longitud integrada con tefra del testigo sedimentario. La delimitación de las zonas de análisis se encuentran representadas a través de líneas punteadas. Las zonas achuradas indican la presencia de tefra.

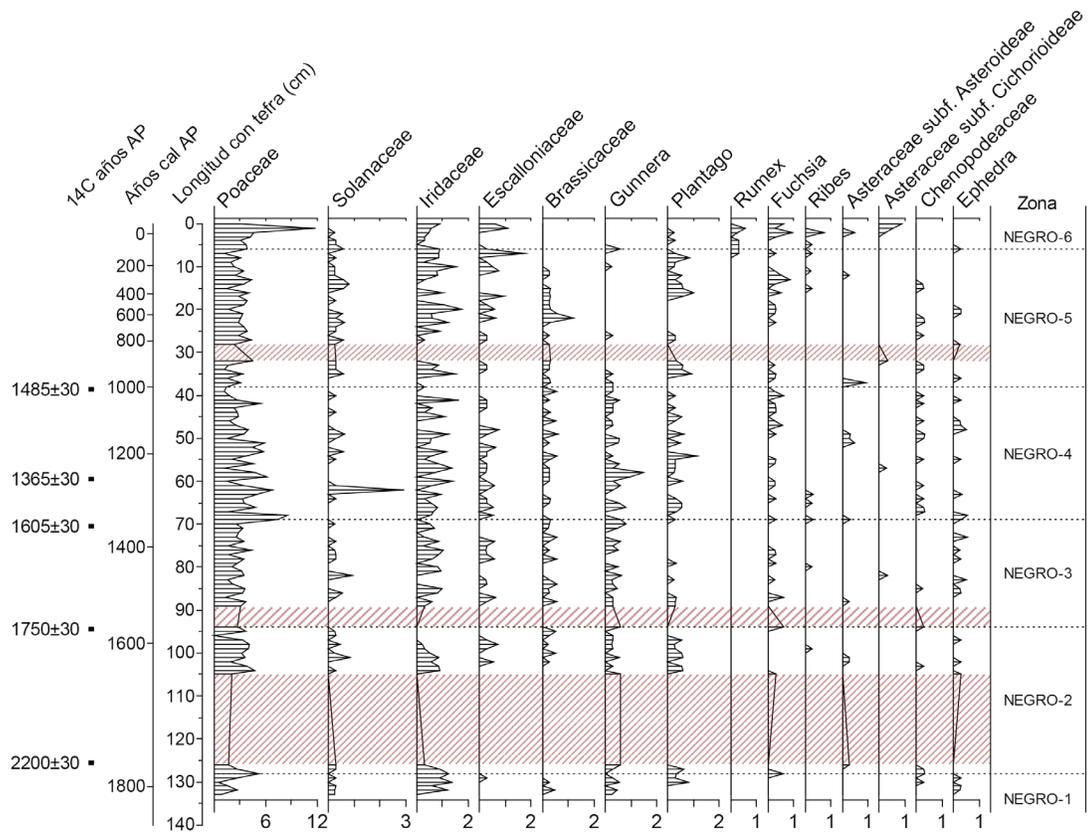


Figura 8. Diagrama de porcentaje polínico de los principales taxa de arbustos y herbáceas presentes en Lago Negro. Los ejes X representan la abundancia relativa de los taxa encontrados en el registro sedimentario. Los ejes Y se componen por los años calendario antes del presente y la longitud integrada con tefra del testigo sedimentario. La delimitación de las zonas de análisis se encuentran representadas a través de líneas punteadas. Las zonas achuradas indican la presencia de tefra.

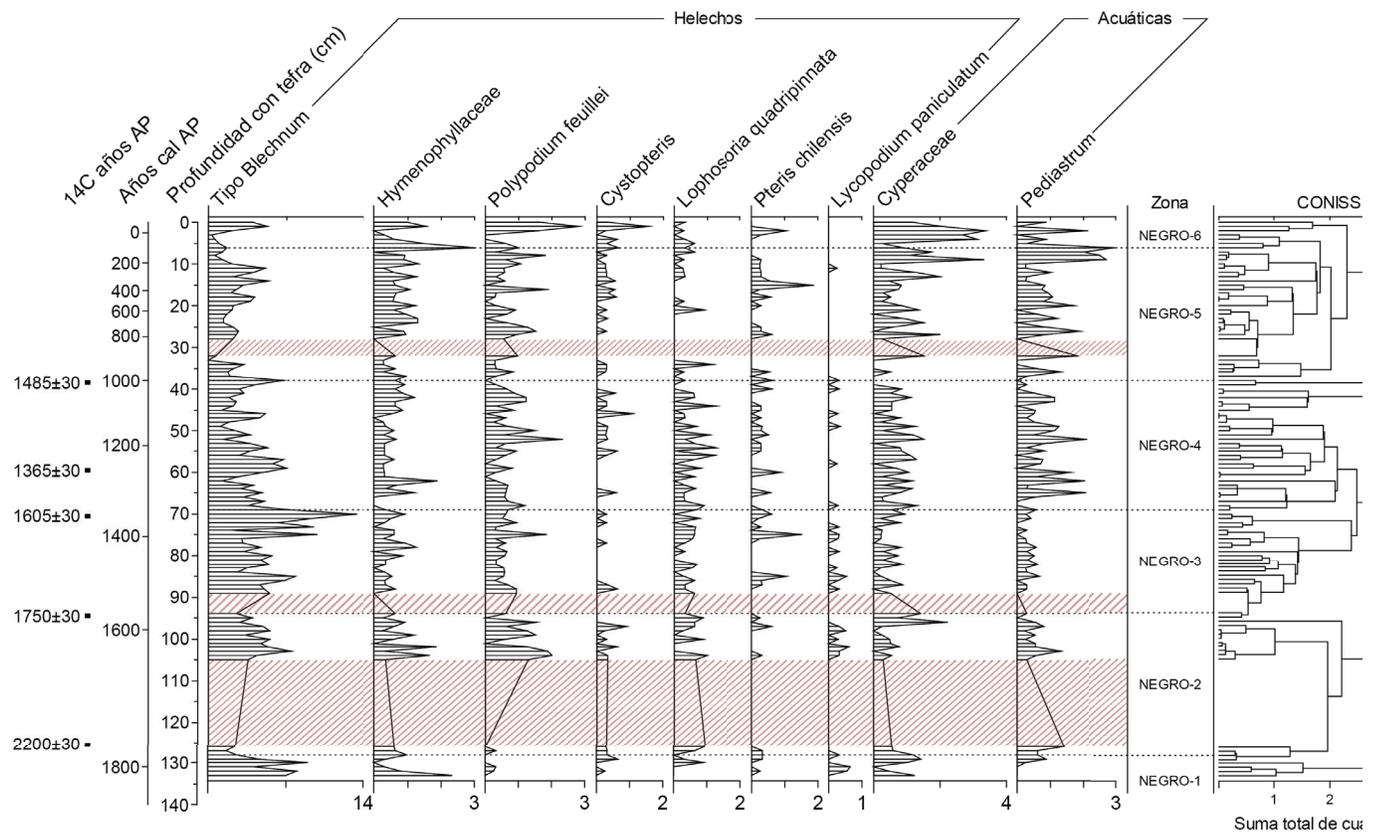


Figura 9. Diagrama de porcentaje polínico de los principales taxa de helechos y acuáticas de Lago Negro. Los ejes X representan la abundancia relativa de los taxa encontrados en el registro sedimentario. Los ejes Y se componen por los años calendario antes del presente y la longitud integrada con tefra del testigo sedimentario. La delimitación de las zonas de análisis se encuentran representadas a través de líneas punteadas. Las zonas achuradas indican la presencia de tefra. A la derecha se observa el cluster de similitud generado a través del análisis CONISS.

Se calculó la tasa de cambio polínico para los principales taxa terrestres presentes en el registro sedimentario de Lago Negro (figura 10). Este parámetro cuantifica la rapidez de los cambios en la estratigrafía polínica durante los últimos 1800 años, a través de los cambios de abundancia de los 12 taxa considerados: *Fitzroya/Pilgerodendron*, *Podocarpus nubigena*, *Saxegothaea conspicua*, *Aristotelia chilensis*, *Nothofagus* tipo *dombeyi*, *Misodendrum*, *Weinmannia trichosperma*, *Eucryphia/Caldcluvia*, *Hydrangea*, *Myrtaceae*, *Poaceae* y *Solanaceae*.

En la tasa de cambio, los valores positivos en el eje X se consideran cambios rápidos y/o de gran magnitud, mientras que valores negativos se consideran cambios lentos o graduales. Este análisis revela cuatro periodos de cambios rápidos en la palinología del registro sedimentario de Lago Negro. El primero se observa en la base del registro, hace aproximadamente 1800 años, culminando hace 1560 años cal AP, encontrándose dentro de la zona 1 y 2. Lo mismo ocurre en los periodos entre los años cal AP 1380-1160, a finales de la zona 3 e inicios de la zona 4, 1100-890, a finales de la zona 4 e inicios de la zona 5, y durante los últimos 180 años en la zona 6 (Figura 10).

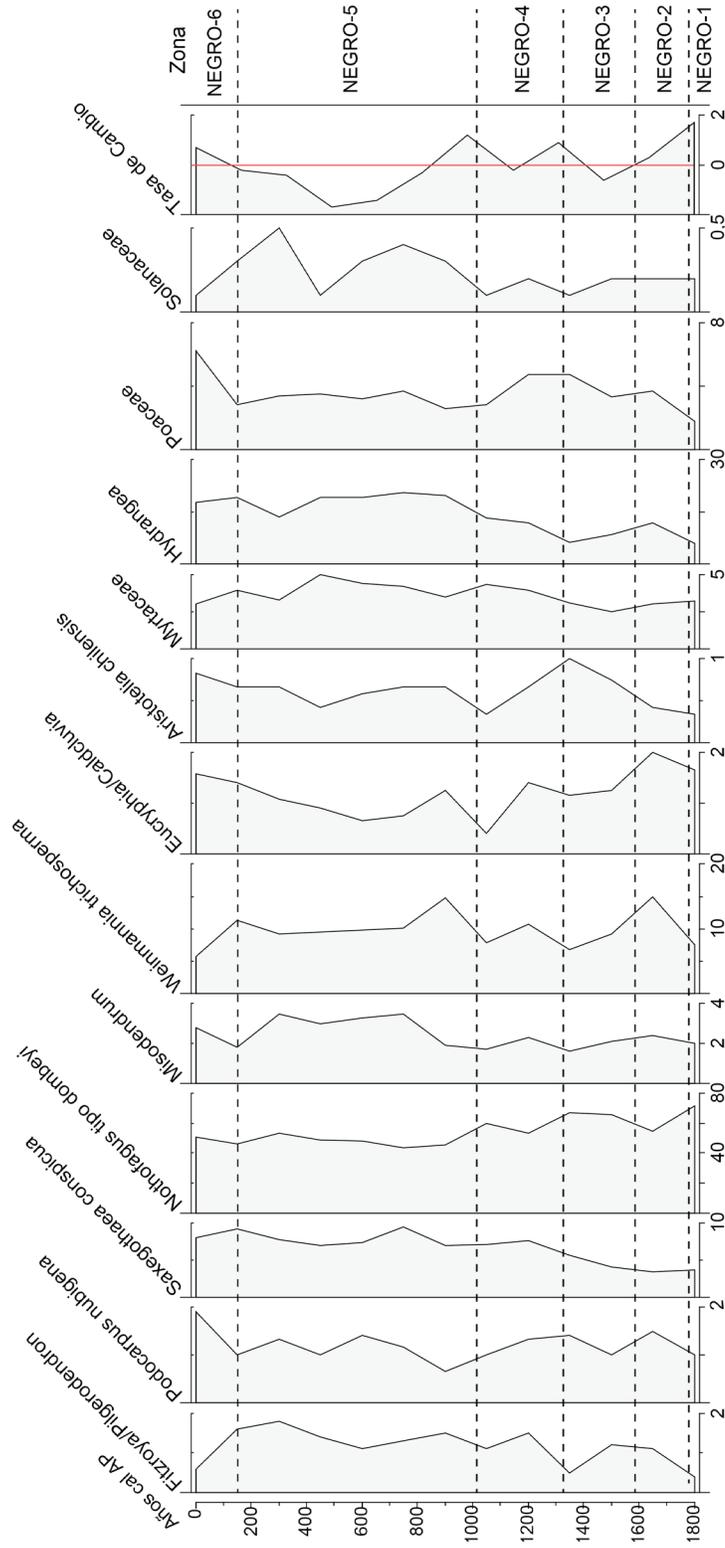


Figura 10. Diagrama de porcentaje de los principales taxa terrestres presentes en la cuenca de Lago Negro. Los ejes X representan los cambios de abundancia que experimentan los diferentes taxa a lo largo del tiempo. Los ejes Y representan los años calendario antes del presente. En la columna de la derecha se muestran los resultados del análisis de tasa de cambio del registro de Lago Negro. La delimitación de las zonas de análisis se encuentran representadas a través de líneas punteadas.

ANÁLISIS DE CARBÓN

Las tasas de acumulación de partículas de carbón micro y macroscópico (Figura 11) se comportan de manera similar a lo largo del registro. El carbón microscópico parte en la base del registro con aumento en la tasa de acumulación que alcanza los 48.057 partículas/año*cm² en el centímetro 129 (1800 años cal AP, aproximadamente). Ambas secuencias muestran altas tasas de acumulación entre los centímetros 103 y 63 de longitud integrada con tefra (entre 1710-1270 años cal AP), alcanzando máximos de 16,2 partículas/año*cm² en el centímetro 73, y 31.970 partículas/año*cm² en el centímetro 72, para carbón macro y microscópico, respectivamente. Esta tasa disminuye y se mantiene sin variación entre los años 1260 y 180 cal AP (cerca de 0,5 partículas/cm²*año de carbón macroscópico y 2.800 partículas/cm²*año de carbón microscópico). En los últimos 180 años se muestra una elevación en la acumulación de partículas de carbón, alcanzando una tasa de 23,08 partículas/cm²*año y 40.734 partículas/cm²*año para macro y micropartículas, respectivamente, con una disminución hacia el presente.

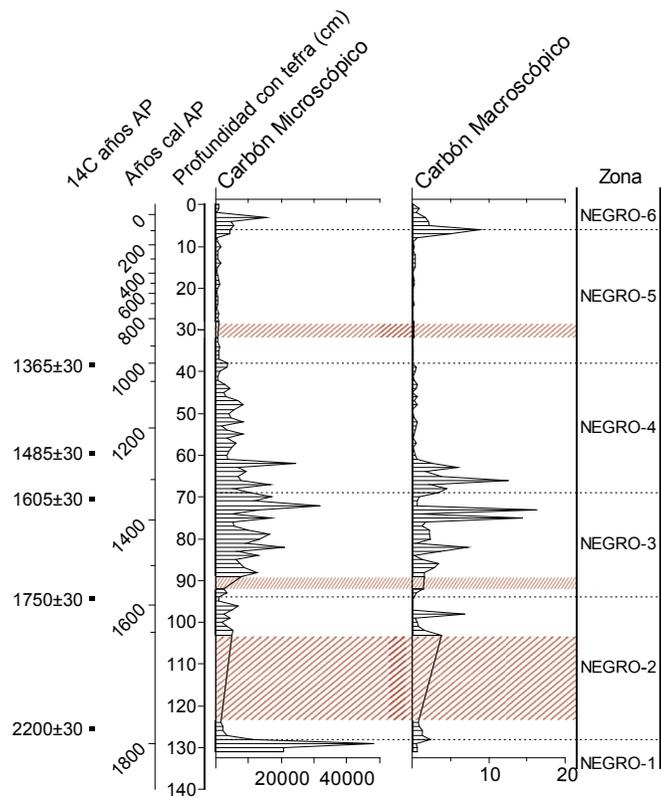


Figura 11. Tasa de acumulación de partículas de carbón micro y macroscópico de Lago Negro. Los ejes X representan la tasa de acumulación de partículas de carbón ($\text{partículas} \cdot \text{año}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$). Los ejes Y se componen por los años calendario antes del presente y la longitud integrada con tefra del testigo sedimentario. La delimitación de las zonas de análisis se encuentran representadas a través de líneas punteadas. Las zonas achuradas indican la presencia de tefra.

DISCUSIÓN

Lago Negro ($43^{\circ}58'17.7''\text{S}$ $72^{\circ}16'10.7''\text{O}$, 82 msnm) se ubica en una pequeña cuenca cerrada a 11 km al oriente del pueblo de La Junta, en el extremo norte de la Región de Aysén.

El registro de Lago Negro contiene tres tefras que datan de 1720, 1550 y 820 años cal AP. Estudios en las cercanías de este lago muestran tres eventos eruptivos explosivos en los últimos 1800 años (González-Ferrán, 1994). El más antiguo data de 1730 años cal AP, proveniente del Volcán Melimoyu ($44^{\circ}04' \text{S}$, $72^{\circ}52' \text{O}$), ubicado 50 km al oeste de Lago Negro. Según Geoffroy y colaboradores (2018), esta tefra denominada Mm-2 o Tefra Santa Ana, estaría compuesta completamente por cenizas pumíceas y lapilli blanco, lo que coincide con lo encontrado en las observaciones litológicas en estas longitudes. Los eventos más jóvenes son registros históricos que datan de 1834 y 1835 DC (Después de Cristo) provenientes del Volcán Corcovado ($43^{\circ}11' \text{S}$, $72^{\circ}47' \text{O}$), ubicado a 95 km al noroeste de Lago Negro.

El estudio estratigráfico de los sedimentos lacustres en Patagonia ha demostrado que existe un conocimiento incompleto sobre los eventos volcánicos ocurridos en la zona. Esto podría deberse a que los registros que se tienen en la actualidad son en parte provenientes de análisis de depósitos de tefra expuestos en cortes de suelo. Estos estudios se ubican principalmente en la Carretera Austral, como es el caso de los trabajos de Naranjo y Stern (2004), y Geoffroy y colaboradores (2018). En registros de horizonte del suelo, los sedimentos se encuentran sujetos a mayores eventos de erosión, dispersión y escorrentía, perdiéndose gran parte de la información de los registros estratigráficos. Se ha demostrado que estos registros se conservan con mayor integridad en los sedimentos lacustres, los que han entregado información sobre eventos eruptivos de los que no se tenía conocimiento (ejemplo Volcán Chaitén, Moreno y col, 2015). Es por esto que es posible que las dos tefras más recientes en el testigo sedimentario de Lago Negro correspondan a eventos volcánicos aún no descritos.

PALEOVEGETACIÓN Y PALEOCLIMA

El registro polínico muestra un ensamble compuesto por elementos característicos del Bosque Valdiviano y el Bosque Nordpatagónico. En los últimos 1800 años cal AP se observa dominancia de *Nothofagus* tipo *dombeyi*, acompañado en el estrato arbóreo por *Weinmannia trichosperma*, *Hydrangea*, *Saxegothaea conspicua*, Myrtaceae y *Misodendrum*. En los estratos inferiores dominan Poaceae y *Blechnum* (Figura 7, 8 y 9). En estos bosques la competencia por radiación solar determina una sucesión ecológica basada en la tolerancia a la sombra (Kobe y col., 1995; Saldaña & Lusk, 2003). Según esto, se esperaría que en un proceso de sucesión tardía el ecosistema estuviese dominado por especies tolerantes y semitolerantes. Sin embargo, se observa tanto en el sitio de estudio como en el registro de polen fósil una dominancia de especies intolerantes del género *Nothofagus* (Veblen & Ashton, 1978), lo que podría deberse a una alta frecuencia de perturbaciones en la zona, permitiendo que esta formación se mantenga en una etapa de sucesión ecológica temprana (Donoso, 1994).

El género *Nothofagus* es clasificado como pionera sombra intolerante, y requiere de grandes claros para su regeneración. Este género presenta un síndrome de polinización anemófilo y se caracteriza por producir una gran cantidad de polen, el cual es esparcido por el viento alcanzando grandes distancias, pudiendo ser una señal local o regional en el registro sedimentario. La presencia de granos de *Misodendrum*, género de plantas parásitas de *Nothofagus*, demuestra la presencia de este árbol dentro de la cuenca. Esta inferencia se hace debido a que los granos de polen de esta planta parásita presentan una baja capacidad de dispersión.

Weinmannia trichosperma se mantiene variable cercano al 10% de abundancia a lo largo del registro sedimentario con una disminución en los últimos 180 años. Esta especie es clasificada como pionera sombra intolerante y es capaz de colonizar ambientes perturbados gracias a la generación de gran cantidad de semillas, cuya capacidad germinativa es muy alta (Lusk, 1999; Donoso, 2006).

Eucryphia/Caldcluvia disminuye a lo largo del registro polínico, presentando una alta abundancia entre los años 1830 y 1240 cal AP. Esto puede estar indicando apertura del dosel ya que *Eucryphia cordifolia* se considera especie pionera sombra intolerante que suele regenerar rápidamente en claros de bosques luego de eventos de perturbación (Donoso, 2006; Gonzáles y col., 2002). *Eucryphia cordifolia* es una especie termófila de ambientes lluviosos con tolerancia relativa a sequías estivales (Ovington, 1983; Villagrán, 1985), y se ha documentado que la humedad excesiva del suelo limita su regeneración (Donoso y col., 1985). Estas características hacen que esta especie sea un buen indicador de estacionalidad en las precipitaciones en Patagonia occidental.

Blechnum disminuye hacia el presente, presentando su mayor abundancia entre los años 1530 y 1340 cal AP (llegando a 11,4% de abundancia). Este máximo coincide con un aumento de *Aristotelia chilensis*, el que llega a 2,6% de abundancia relativa. Ambos taxa son indicadores de apertura del bosque, siendo descritos como taxa intolerantes a la sombra (Villagrán 1985; Donoso, 2006). La presencia de *Eucryphia/Caldcluvia*, elemento característico del Bosque Valdiviano, indicarían condiciones más cálidas y con mayor estacionalidad en la base del registro, las que se mantendrían hasta 1300 años cal AP aproximadamente.

Myrtaceae y *Drimys winteri* se encuentran a lo largo de todo el registro polínico, alcanzando su máxima abundancia entre los años 1260 y 180 cal AP (6,8 y 1,6%, respectivamente), disminuyendo hasta el presente. *Drimys winteri* se caracteriza por crecer en ambientes húmedos cercanos a cursos de agua, y sus granos de polen son de dispersión limitada debido a su gran tamaño (Donoso, 2006). Es por esto que es posible afirmar que las condiciones locales de la cuenca de Lago Negro presentaron un aumento en las condiciones húmedas en el periodo entre 1260 y 180 años cal AP.

El registro revela un pequeño incremento hacia el presente de los palinomorfos de coníferas higrófilas resistentes al frío, *Saxegothaea conspicua* y *Podocarpus nubigena* (Donoso, 2006; Villa-Martínez y col., 2012), lo que sugiere una disminución de las temperaturas y un aumento en el régimen de precipitación hacia la actualidad. Sin

embargo, los palinomorfos de la familia Cyperaceae aumentan hacia el presente, alcanzando su máximo entre los centímetros 1 y 4 de longitud (3,6% de abundancia). Debido a que los palinomorfos de las especies someras y de borde de lago se depositan en aguas poco profundas, es de esperar que una disminución de los niveles lacustre genere una mayor representatividad de estos palinomorfo en el registro sedimentario. Esto indicaría una disminución de los niveles lacustres, ocasionado posiblemente por una disminución en las precipitaciones.

RÉGIMEN DE FUEGO

La tasa de acumulación de partículas de carbón micro y macroscópico muestran comportamientos similares a lo largo del registro sedimentario de la cuenca de Lago Negro. Este análisis considera que las partículas macroscópicas (>100 µm de diámetro) presentan una dispersión acotada, por lo que representan eventos de fuego ocurridos dentro de la cuenca (eventos locales), mientras que las partículas microscópicas (<100 µm de diámetro) son capaces de recorrer grandes distancias a través del viento, correspondiendo a eventos de fuego local o regional (Whitlock & Larsen 2002).

Dentro de este registro es posible apreciar dos periodos con alta actividad de fuego en la base y el tope del registro, inferidas por altas tasas de acumulación de partículas de carbón en los sedimentos (figura 11). El periodo más antiguo se observa en la base del registro entre 1800-1300 años cal AP, aproximadamente, donde tanto el carbón microscópico como macroscópico presenta una alta actividad, demostrando un régimen de fuego activo tanto dentro como fuera de la cuenca. Este periodo de alta actividad de fuego coincide en el registro polínico con una alta abundancia de *Eucryphia/Caldcluvia* y *Blechnum*, y apoya la teoría de que en la base del registro las condiciones eran más cálidas y secas.

Esto es seguido por un periodo de baja acumulación de carbón, el que se mantiene con muy poca variación entre 1250-150 años cal AP, aproximadamente. La ausencia

de eventos de fuego y el aumento en la abundancia de especies como *Drimys winteri* y disminución de especies como *Eucryphia cordifolia*/*Caldcluvia paniculata* hacen inferir condiciones más frías/húmedas.

Finalmente, a partir de 120 años cal AP hasta el presente, se observa una elevación en la tasa de acumulación de partículas de carbón. Debido a la gran cantidad de macropartículas en relación a los otros pulsos observados en el registro, es posible afirmar que en los últimos 120 años cal AP la cuenca de Lago Negro experimentó el régimen de fuego más intenso dentro de los últimos 1800 años cal AP, lo que coincide con la llegada de asentamientos chileno-europeos a la región.

La relación observada entre las partículas de carbón y los niveles de tefra demuestran que los efectos de los eventos volcánicos en los regímenes de fuego ocurrieron de manera extra-local y que no tuvieron mayor influencia dentro de la cuenca, con excepción de la tefra Santa Ana. La tefra más antigua (20 cm de espesor; posiblemente Tefra Santa Ana; 1720 años cal AP; volcán Melimoyu) coincide con un aumento tanto en las micropartículas como en las macropartículas, pudiendo inferir que a raíz de ese suceso aumentaron los eventos de fuego dentro de la cuenca de Lago Negro. La segunda tefra (2 cm de espesor; 1550 años cal AP; de origen desconocido) es coetánea a un aumento en la concentración de partículas microscópicas, por lo que se asume que el impacto en los regímenes de fuego ocurrieron de manera extra-local a la cuenca. En la tercera tefra, que vendría siendo la más reciente (3 cm de espesor; 820 años cal AP; origen desconocido), no se observó variación en los registros de partículas de carbón, por lo que posiblemente se trate de un evento muy lejano o de muy baja intensidad.

En el registro sedimentario no se observa directa relación entre los eventos de fuego, y la actividad volcánica, con excepción de la tefra más antigua, por lo que es posible afirmar que los pulsos de partículas de carbón en los sedimentos lacustres son debido a eventos naturales de fuego relacionados con perturbaciones climáticas, principalmente con la persistencia de condiciones más secas y/o mayor estacionalidad en los regímenes de precipitación. Por esto mismo se infiere que en el intervalo de tiempo 1800-1300 años

cal AP las condiciones eran más cálidas que en el intervalo de tiempo 1250-150 años cal AP, donde la baja concentración de partículas de carbón muestra condiciones más frías/húmedas. En los últimos 120 años cal AP, debido a la posible influencia de la actividad antrópica en los regímenes de fuego y en la composición vegetal, no es factible una interpretación climática a partir de estos eventos.

Se infiere que los eventos volcánicos más recientes no generaron mayor impacto en la vegetación presente en la zona, observándose un leve patrón de respuesta a los eventos de tefra en la abundancia de los palinomorfos, principalmente de *Nothofagus* tipo *dombeyi*, el que tiende a aumentar su abundancia luego de estos eventos al igual que *Misodendrum*. Lo mismo ocurre con las esporas de helechos de *Polypodium feuillei* y del tipo *Blechnum*. Mientras que los palinomorfos de *Saxegothaea conspicua*, *Podocarpus nubigena*, *Fitzroya/Pilgerodendron*, *Hydrangea*, *Weinmannia trichosperma* y *Eucryphia/Caldcluvia* tienden a disminuir tras estos eventos.

La tasa de cambio palinológico muestra cambios rápidos y/o de gran magnitud en el ensamble polínico entre 1800-1560, 1380-1160, 1100-890 años cal AP, y durante los últimos 180 años (Figura 10). El primer periodo de cambios rápidos observado en la base del registro (1800-1560 años cal AP) es coetáneo con la tefra más antigua. El segundo periodo (1380-1160 años cal AP) se relaciona con el periodo de alta actividad de fuego local registrado por una alta tasa de acumulación de macropartículas de carbón. El tercer máximo (1100-890 años cal AP) no coincide con ninguna perturbación relacionada con eventos de fuego o volcanismo, encontrándose en un periodo con baja acumulación de carbón, pudiendo estar relacionado con cambios palinológicos relacionado con una disminución de elementos característicos del Bosque Valdiviano. El cambio abrupto más reciente (durante los últimos 180 años) comienza de manera simultánea con el máximo pulso de partículas macroscópicas de carbón observado en el registro, el que probablemente tenga su origen en la actividad antrópica.

IMPACTO ANTRÓPICO

Los registros arqueológicos confirman la presencia de asentamientos humanos en los bosques patagónicos desde hace aproximadamente 6000 años cal AP (Méndez y col., 2016). El registro más cercano a Lago Negro se ubica dentro de la cuenca del Río Cisnes, en el sitio Las Quemadas (44°37' S, 71°51' O, 724 msnm). Sin embargo se piensa que dichos asentamientos tenían un uso discontinuo y estacional, y un uso no intensivo del recurso forestal (Borreno, 2004).

Las perturbaciones antrópicas de origen chileno-europeo comenzaron a finales del siglo XIX en la provincia de Palena, cuando se organizan las primeras exploraciones con Adolfo Abbé en 1883, Serrano Montaner en 1885 y 1886, y Elías Rosselot en 1894 (Palacios, 2009). Estas exploraciones tenían la finalidad de levantar información para el asentamiento de nuevas colonias en la zona, además de entregar nuevos antecedentes técnicos para apoyar la posición de Chile en el conflicto limítrofe con Argentina, surgido después del tratado del año 1881 (Palacios, 2009). El proceso de colonización del área más cercana a La Junta comienza a mediados del siglo XX, a fines de la década de 1940. A raíz de problemas limítrofes con Argentina en la década de 1950, el gobierno de Jorge Alessandri crea la Corporación de Tierras de Aysén, fundando el poblado de la Junta en 1963.

El asentamiento de colonias chileno-europeas en Aysén es inferido dentro del testigo sedimentario por la aparición del palinomorfo del género *Rumex* entre los centímetros 0 y 7 de longitud, el cual es interpretado como un indicador palinológico de perturbación antropogénica de origen europeo (Villa-Martínez & Moreno, 2007; Villa-Martínez y col., 2012). La aparición de este palinomorfo coincide con una pequeña disminución observada en la abundancia de *Nothofagus* tipo *dombeyi* (45,97%), y un aumento en la presencia de Poaceae (4,90%), familia de herbáceas pioneras de rápido crecimiento asociada con la perturbación antrópica (Donoso y col., 2006).

Plantago permite inferir señales antrópicas dentro del registro polínico ya que muchas especies de este género son introducidas en esta región, como *Plantago lanceolata* y *P. major* (Rodríguez y col., 2018). Sin embargo, este palinomorfo está presente a lo largo de todo el registro y no se observan aumentos de su abundancia en el presente, por lo que se infiere que esta señal no corresponde a las especies introducidas, pudiendo corresponder a especies nativas como *Plantago australis*, *P. barbata* y *P. uniglumis* (Rodríguez y col., 2018), las que se encuentran tanto en la Región de los Lagos como en la Región de Aysén. Debido a esto, y a que la señal de *Rumex* es muy baja (alcanzando su máximo de abundancia en el centímetro 1 con 0,5%) es posible afirmar que la señal de especies introducidas en el registro es casi imperceptible.

Estos cambios en la vegetación se ajustan con los pulsos de máxima acumulación de macro y micropartículas de carbón observados en los últimos 180 años, y podría ser consecuencia de la apertura del bosque generada para el fomento de la ganadería, la agricultura y el establecimiento de viviendas en la región. Se deduce que a raíz de este evento de fuego la composición palinológica del registro sedimentario cambia drásticamente, siendo esto percibido por el análisis de coeficiente de similitud de los ensambles polínicos (CONISS), y observándose como un periodo de cambios rápidos en la composición palinológica por el análisis de tasa de cambio.

CONTEXTUALIZACIÓN REGIONAL

Los registros en Patagonia norte muestran un comportamiento similar a lo observado en el registro estratigráfico de Lago Negro, donde a partir de 3000 años cal AP la temperatura comienza a disminuir. Esto es evidenciado por una disminución gradual del palinomorfo *Eucryphia/Caldcluvia* en los registros sedimentarios, lo que hace inferir una transición de Bosque Valdiviano a Bosque Nordpatagónico (Moreno, 2004; Moy y col., 2009; Jara & Moreno, 2012; Pesce & Moreno, 2014; Jara & Moreno, 2014; Henríquez y col., 2015; Moreno y col., 2018).

Moy y colaboradores (2009), a través de diferentes indicadores paleoambientales, llegan a la conclusión de que en los últimos 2000 años ha habido un descenso de las temperaturas, con condiciones más cálidas en los últimos 350 años. De igual manera, Henríquez y colaboradores (2015), en el registro de Lago Teo en Chiloé Continental (42°54' S, 72° 42' O, 45 msnm), observaron predominancia de *Eucryphia/Caldcluvia* en el periodo 10.000-4800 años cal AP, seguido por el aumento hasta el presente de *Nothofagus* tipo *dombeyi* y *Weinmannia trichosperma*. Este aspecto lo interpretaron como una tendencia milenaria hacia condiciones más frías y húmedas, sugiriendo un aumento en el predominio de elementos del bosque Nordpatagónico. Pesce & Moreno (2014) también observan condiciones ambientales sincrónicas en Lago Lepue en la Isla Grande de Chiloé (42°48'28.70" S, 73°43'4.84" O, 124 msnm), donde la disminución de *Eucryphia/Caldcluvia* y el aumento de *Nothofagus* tipo *dombeyi*, *Misodendrum* y *Weinmannia trichosperma*, sugieren el desarrollo de un Bosque Nordpatagónico, indicando condiciones templado-húmedas entre 2600-400 años cal AP. El registro fósil de Lago Pichilafquen (40°44'45.70" S, 72°28'55.38" O; 218 msnm), sugiere una disminución de las temperaturas/aumento de las precipitaciones entre 1900-430 años cal AP, con aumentos locales de *Eucryphia/Caldcluvia* en 1500 y 1100 años cal AP (Jara & Moreno, 2012; Jara & Moreno, 2014).

El registro de Lago Condorito en la zona norte de la Región de los Lagos (41°40'15.33" S, 73°04'54.64" O; 78 msnm), muestra un intervalo cálido entre 2900-1800 años cal AP (Moreno, 2004), al igual que lo encontrado en Lago El Salto (41°38'48.02" S, 73°5'48.42" O; 70 msnm). El registro sedimentario de Lago El Salto muestra tres eventos interpretados como megasequías en los periodos 2300-1900, 1400-1000 años cal AP, y en los últimos 150 años (Moreno & Videla, 2016). En el registro de Lago Pichilaguna (41°15'55.63" S, 73° 3'31.71" O; 110 msnm), de manera similar a los lagos antes mencionados, se observó una disminución de la influencia del CVO que comenzó hace aproximadamente 3.200 años cal AP, con cambios de escala centenarias que persisten hasta el presente (Moreno y col., 2018).

Estos resultados se ajustan con lo encontrado en el testigo sedimentario de Lago Negro, donde los registros de partículas de carbón y polen fósil muestran un periodo de disminución de las temperaturas y aumento de las precipitaciones desde 1800 años cal AP hasta el presente. El registro de carbón y la presencia de *Eucryphia/Caldcluvia* muestran un periodo relativamente cálido entre 1800-1300 años cal AP, con condiciones relativamente frías/aumento de precipitaciones entre 1250-150 años cal AP, donde los elementos característicos del Bosque Valdiviano son reemplazados por el Bosque Nordpatagónico, y los eventos de fuego se mantienen bajos.

CONCLUSIÓN

El registro sedimentario de Lago Negro muestra dominancia del bosque templado húmedo Nordpatagónico y elementos del Bosque Valdiviano, durante los últimos 1800 años cal AP. Según el análisis estratigráfico del registro, donde se consideró polen fósil, partículas macro y microscópicas de carbón vegetal, y la presencia de tefras, es posible inferir:

1. Depositación de tres niveles de tefra en los últimos 1800 años, las que datan de 1720, 1550 y 820 años cal AP.
2. Los eventos de gran intensidad de fuego dentro de la cuenca de Lago Negro no se encuentran relacionados con los eventos de tefra observados en el registro, con la excepción de la tefra más antigua. Por lo que el fuego en esta región es modulado por la variabilidad climática, mostrando condiciones más cálidas/secas en el periodo 1800-1300 años cal AP, y más frías/húmedas en el periodo 1250-150 años cal AP.
3. Debido a que no hay un efecto perceptible de la actividad volcánica más reciente sobre el ensamble polínico, se infiere que los cambios vegetacionales son impulsados por cambios en el clima y los regímenes de fuego en los últimos 1600 años.
4. Los eventos de fuego son más intensos en los últimos 120 años cal AP. Sin embargo, debido a que estos coinciden con la colonización chileno-europea de la región, siendo modificados los regímenes de incendio y la composición de las comunidades vegetales, no es posible inferir las condiciones climáticas a través del registro de partículas de carbón y polen fósil.

5. La actividad antrópica moderna se expresa a través de un aumento significativo en la tasa de acumulación de partículas macroscópicas de carbón a partir de 120 años cal AP hasta el presente. En el análisis polínico se observa una pequeña disminución de *Nothofagus* tipo *dombeyi*, además de un aumento pronunciado de Poaceae. La presencia de especies introducidas dentro del registro es muy sutil, y se expresa a través de la aparición de *Rumex* entre los centímetros 0 y 7 de longitud.

6. El parámetro de tasa de cambio muestra cuatro momentos en los cuales se observa cambios rápidos y/o de gran magnitud en la composición polínica de los sedimentos lacustres. Estos intervalos de tiempo datan de 1800-1560, 1380-1160, 1100-890, y 120- -60 años cal AP.

7. Los registros en Patagonia norte muestran un comportamiento similar dentro del Holoceno tardío, donde a partir de 3000 años cal AP la temperatura comienza a disminuir. Esto es evidenciado por una disminución gradual del palinomorfo *Eucryphia/Caldcluvia* en los registros sedimentarios, siendo apoyado por diferentes trabajos como los de Moreno (2004), Moy y colaboradores (2009), Jara & Moreno (2012 y 2014) Pesce & Moreno (2014) , Henríquez y colaboradores (2015), Moreno & Videla (2016), y Moreno y colaboradores (2018).

REFERENCIAS

- ABARZÚA, A.M. & MORENO, P.I. 2008. Changing fire regimes in the temperate rainforest region of southern Chile over the last 16,000 yr. *Quaternary Research*. **69**: 62-71.
- ALLOWAY, B.V.; LOWE, D.J.; LARSEN, G.; SHANE, P.A.R. & WESTAGE, J.A. 2013. QUATERNARY STRATIGRAPHY | Tephrochronology A2 - Elias, Scott A, In: Mock, C.J. (Ed.), *Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition)*. pp. 277-304. Elsevier, Amsterdam
- ARMESTO, J.; VILLAGRAN, C. & DONOSO, C. 1994. Desde la era glacial a al industrial. La historia del bosque templado chileno. *Ambiente y Desarrollo*. **10**(1): 66-72.
- AUSTIN, M. P. 2013. Vegetation and environment: Discontinuities and continuities. En VAN DER MAAREL, E. & FRANKLIN, J. *Vegetation Ecology*. pp. 71-106. John Wiley and Sons, Oxford.
- BERRENO, L. 2004. The Archaeozoology of Andean “Dead Ends” in Patagonia: Living Near the Continental Ice Cap. In *Colonisation, Migration and Marginal Areas: A Zooarchaeological Approach*, edited by Mariana Mondini, Sebastián Muñoz, and Stephen Wickler. pp. 55–61. Oxbow Books, Oakville.
- BIRKS, H.J.B., GORDON, A.D. 1985. Numerical methods in Quaternary pollen analysis. Academic Press. pp317. Orlando.
- BIZAMA, G.; TORREJÓN, F.; AGUAYO, M.; MUÑOZ, M.D.; ECHEVERRÍA, C. & URRUTIA, R. 2011. Pérdida y fragmentación del bosque nativo en la cuenca del río Aysén (Patagonia-Chile) durante el siglo XX. *Revista de Geografía Norte Grande*. **49**: 125-138.
- BLAAUW, M. & CHRISTEN, A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*. **6**: 457-474.
- BOX, E.O. 2016. World bioclimatic zonation. En BOX, E. O. (ed.) *Vegetation structure and function at multiple spatial, temporal and conceptual scale*, *Geobotany studies*. pp. 3-52. Springer, Heidelberg.
- BOX, E. O. & FUJIWARA, K. 2013. Vegetation types and their broad-scale distribution. En VAN DER MAAREL, E. & FRANKLIN, J. *Vegetation Ecology*. pp. 455-485. John Wiley and Sons, Oxford.
- BRECKLE, S.W. & WALTER, S. 2002. *Walter’s vegetation of the earth: the ecological systems of the geo-biosphere*. pp 25-100. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- BROECKER, W. & DENTON, G. 1989. The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **53**: 2465-2501.

BUTLAND, G. 1957. The Human Geography of Southern Chile. Institute of British Geographers. **24**: iii-132

COLIN PRENTICE, I. 1983. Pollen representation, source area, and basin size: Toward a unified theory of pollen analysis. *Quaternary Research*. **23**(1): 76-86.

DANIAU, A.L.; BARTLEIN, P.J.; HARRISON, S.P.; PRENTICE, I.C.; BREWER, S. & colaboradores. Predictability of biomass burning in response to climate changes. *Global Biogeochemical Cycles*. **26**: 1-12.

DAVIS, M.B. 1968. Pollen grains in lake sediments: redeposition caused by seasonal water circulation. *Science*. **162**(3855):796-799.

DENNIS, R.; MEIJAARD, E.; APPLGATE, G.; NASI, R. & MOORE, P. 2001. Impact of human-caused fires on biodiversity and ecosystem functioning, and their causes in tropical, temperate and boreal forests biomes. CBD Technicas Seires N°5. Convenio sobre diversidad biológica, Montreal, Canadá.

DONOSO, C.; ESCOBAR, B. & URRUTIA, J. 1985. Estructura y estrategias regenerativas de un bosque virgen de Ulmo (*Eucryphia cordifolia* Cav.)—Tepa (*Laurelia philippiana* Phil.) Looser en Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. **58**: 171–186.

DONOSO, C. 1994. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica forestal. *Ecología Forestal*. Editorial Universitaria. Cuarta Edición. pp. 482. Santiago, Chile.

DONOSO, C. 2006. Las especies arbóreas de los bosques templados del Chile y Argentina. *Autoecología*. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile.

FAEGRI, K & IVERSEN, J. 1975. Textbook of pollen analysis. pp. 295. Munksgaard, Copenhagen.

FAEGRI, K. & IVERSEN, J. 1989. Textbook of pollen analysis. Cuarta Edición. pp. 352. John Wiley & Sons Ltd., London.

GARREAU, R.D. 2007. Precipitation and circulation covariability in the extratropics. *Journal of Climate*. **20**: 4789-4797.

GARREAU, R.D.; VUILLE, M.; COMPAGNUCCI, R. & MARENGO, J. 2009. Present-day South American Climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **281**: 180–195.

GEOFFROY, C.A.; ALLOWAY, B.V.; AMIGO, A.; PARADA, M.A.; GUTIERREZ, F.; CASTRUCCIO, A.; PEARCE, N.J.G.; MORGADO, E. & MORENO, P.I. 2018. A widespread compositionally bimodal tephra sourced from Volcan Melimoyu (44S, Northern Patagonian Andes): Insights into magmatic reservoir processes and opportunities for regional correlation. *Quaternary Science Reviews*. **200**: 141-159.

- GONZÁLEZ-FERRÁN, O. 1994. Volcanes de Chile. Instituto Geográfico Militar. 640 pp. Santiago, Chile.
- GONZÁLEZ, M.E.; VELEN, T.T.; DONOSO, C. & VALERIA, L. 2002. Tree regeneration responses in a lowland *Nothofagus*-dominated forest after bamboo dieback in South-Central Chile. *Plant Ecology*. **161**: 59-73.
- GREEN, D.G. 1981. Time series and postglacial forest ecology. *Quaternary Research*. **15**: 265-277.
- GREEN, D.G. 1982. Fire and stability in the postglacial forests of southwest Nova Scotia. *Journal of Biogeography*. **9**: 29-40
- GRIM, ERIC, C. & JACOBSON JR, GEORGE L. 1992. Fossil-pollen evidence for abrupt climate changes during the past 18000 years in eastern North American. *Climate Dynamics*. **6**: 179-184.
- HALL, S.A. 1981. Deteriorated pollen grains and the interpretation of quaternary pollen diagrams. *Review of Palaeobotany and Palynology*. **32** (2–3): 193-206.
- HEIRI, O.; LOTTER, A.F.; & LEMCKE, G. 2001. Loss in ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproductibility and comparability of result. *Journal of Paleolimnology*. **25**:101-110.
- HENRÍQUEZ, W.I.; MORENO, P.I.; ALLOWAY, B.V. & VILLAROSA, G. 2015. Vegetation and climate change fire-regime shifts and volcanic disturbance in Chiloé Continental (43° S) during the last 10,000 years. *Quaternary Science Reviews*. **123**: 158-167.
- HEUSSER, C.J. 1971. Pollen and spores of Chile: modern types of the Pteridophyta, Gymnospermae, Angiospermae. pp. 167. Tucson, Arizona.
- HEUSSER, C.J.; HEUSSER, L.E. & HAUSER, A. 1992. Paleoecology of late quaternary deposits in Chiloé Continental, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. **65**: 253-245.
- HOLZ, A. & VELEN, T.T. 2011. Variability in the Southern Annular Mode determines wildfireactivity in Patagonia. *Geophysical Research Letters*. **38**: 1-6.
- IVERSEN, J. 1944. *Viscum*, *Hedera* and *Ilex* as climate indicators: A contribution to the study of the post-glacial temperature climate. *GFF* **66**: 463-483.
- JACOBSON JR., G.L. & BRADSHAW, R.H.W. 1981. The selection of sites for paleovegetational studies. *Quaternary Research*. **16**: 80-96.
- JAKSIC, M.F. & FARIÑA, J.M. 2015. Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*. **43**(1): 23-34.

- JANSONIUS, J. & MCGREGOR, D.C. 1996. Palynology, principles and applications. Vol. 1-3. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. Dallas, Texas.
- JARA, I.A. & MORENO, P.I. 2012. Temperate rainforest response to climate change and disturbance agents in northwestern Patagonia (41° S) over the last 2600 years. *Quaternary Research*. **77**: 235-244.
- JARA, I.A. & MORENO, P.I. 2014. Climatic and disturbance influences on the temperate rainforests of northwestern Patagonia (40° S) since ~ 14.500 cal yr BP. *Quaternary Science Reviews*. **90**: 217-228.
- KITZBERGER, T.; VEBLEN, T. & VILLALBA, R. 1997. Climatic influences on fire regimes along a rain forest-to-xeric woodland gradient in northern Patagonia, Argentina. *Journal of Biogeography*. **24**(1): 35-47.
- KOBE, R.; PACALA, S. & SILANDER, J. 1995. Juvenile tree survivorship as a component of shade tolerance. *Ecological applications*. **5**: 517-532.
- LUEBERT, F. & PLISCOFF, P. 2018. Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile. Editorial Universitaria. pp. 168-230. Santiago, Chile.
- LUSK, C.H. 1999. Long-lived light-demanding emergents in southern temperate forests: the case of *Weinmannia trichosperma* (Cunoniaceae) in Chile. *Planta Ecology*. **140**: 111-115.
- MÉNDEZ, C. & REYES, O. 2008. Late Holocene Human Occupation of Patagonian Forests: a Case Study at Cisnes River Basin (44° S, Chile). *Antiquity* **82**: 560–570.
- MÉNDEZ, C.; REYES, O.; NUEVO DELAUNAY, A.; VELÁSQUEZ, H.; TREJO, V.; HORMAZÁBAL, N.; SOLARI, M & STERN, C.R. 2016. Los Quemados Rockshelter: Understanding human occupations of andean forests of central Patagonia (Aysén, Chile), Southern south America. *Latin American Antiquity*. **27**(2): 207-226.
- MERCER, J.H. 1965. Glacier variations in southern Patagonia. *Geographical Review*. **55**: 390-413.
- MORENO, P.I., 2004. Millennial-scale climate variability in northwest Patagonia over the last 15000 yr. *J. Quaternary Science*. **19**: 35–47.
- MORENO, P.I.; ALLOWAY, B.V.; VILLAROSA, G.; OUTES, V.; HENRÍQUEZ, W.I.; DE POL-HOLZ, R. & PEARCE, N.J.G. 2015. A past-millennium maximum in postglacial activity from Volcán Chaitén, southern Chile. *Geology*. **43**(1): 47–50.
- MORENO, P.I. & VIDELA, J. 2016. Centennial and millennial-scale hydroclimate changes in northwestern Patagonia since 16,000 yr BP. *Quaternary Science Reviews*. **149**: 236-337.

- MORENO, P.I.; VIDELA, J.; VALERO-GARCÉS, B.; ALLOWAY, B.V. & HEUSSER, L. 2018. A continuous record of vegetation, fire-regime and climatic changes in northwestern Patagonia spanning the last 25,000 years. *Quaternary Science Reviews*. **198**: 15-36.
- MOY, C.M.; DUNBAR, R.B.; MORENO, P.I.; FRANCOIS, J.P.; VILLA-MARTINEZ, R.; MUCCIARONE, D.M.; GUILDERSON, T.P. & GARREAUD, R.D. 2008. Isotopic evidence for hydrologic change related to the westerlies in SW Patagonia, Chile, during the last millennium. *Quaternary Science Reviews*. **27**: 1335-1349.
- NAKAMURA, H. y SHIMPO, A. 2004. Seasonal variations in the Southern Hemisphere storm tracks and jets streams as revealed in a reanalyses dataset. *Journal of Climate*. **17**: 1828-1844.
- NARANJO, J.A.; POLANCO, E.; LARA, L.E.; MORANO, H. & STERN, C.R. 2001. Holocene tephra-fall deposits of Southern and Austral Andes Volcanic Zones (34°-54°S): eruption recurrence. In *South American Symposium on Isotope Geology*. **3**: 407-408 (Extended Abstract Volume).
- NARANJO, J.A. & STERN, C.R. 1998. Holocene explosive activity of Hudson volcano, southern Andes. *Bulletin of Volcanology*. **59**: 291-306.
- NARANJO, J.A. & STERN, C.R. 2004. Holocene tephrochronology of the southernmost part (42°30'-45°S) of the Andean Southern Volcanic Zone. *Revista Geológica de Chile*. **31**(2): 225-240.
- OBERDORFER, E. 1960. *Pflanzensoziologische Studien in Chile*. Cramer, Verlag von J., Weinheim, Alemania.
- ORTEGA, H. & BRÜNNING, A. 2004. *Aisén, panorama histórico y cultural XI región*. Lom Ediciones Ltda. 270 pp. Santiago, Chile.
- OVERPECK, J.T.; WEBB III, T. & PRENTICE, I.C. 1985. Quantitative interpretation of Fossil Pollen Spectra: Dissimilarity Coefficients and the Method of Modern Analogs. *Quaternary Research*. **23**: 87-108.
- OVINGTON, J.D. 1983. *Temperate broad-leaved evergreen forest*. Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam.
- PALACIOS, C. 2009. *La Junta, el pueblo del encuentro. Historia y patrimonio cultural de la puerta norte de la Región de Aysén*. Turismo Científico Aysén. 90 pp. Aysén, Chile.
- PESCE, O. & MORENO, P.I. 2014. Vegetation, fire and climate change in central-east Isla Grande de Chiloé (43S) since the Last Glacial Maximum, northwestern Patagonia. *Quaternary Science Reviews*. **90**:143-157.

- POWER, M.J.; MARLON, J.; ORTIZ, N.; BARTLEIN, P.J.; HARRISON, S.P. & colaboradores. 2008. Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: An assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data. *Climate Dynamics*. **30**(7-8): 887–907.
- ROSSELOT, E. 1894. Memoria del Inspector de la Colonia de Palena. En Memoria del Ministerio de Relaciones Exteriores, Culto y Colonización presentada al Congreso Nacional en 1894. Santiago: Imprenta Nacional.
- SALDAÑA, A. & LUSK, C. 2003. Influencia de las especies del dosel en la disponibilidad de recursos y regeneración avanzada en un bosque templado lluvioso del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. **76**: 639-650.
- SANHUEZA, P.I. 2001. Fire situation in Chile. En: GOLDAMMER, J.G. & MUTCH, R.W. Global forest fire assessment 1990-2000. Forest Resources Assessment, FAO, Rome.
- SCHMITHUSEN, J. 1956. Die raumliche ordnung der chilenischen vegetation. *Bonner Geographische Abhandlungen* **17**: 1-81.
- SINGH, G.; KERSHAW, A. P. & CLARK, R. 1981. Quaternary vegetation and fire history in Australia. En: GILL, A.M.; GROVES, R.H. & NOBLE, I. R. Fire and the Australian Biota. Australian Academy of Science. pp. 23-54. Canberra.
- SOLOMON, A.M. 1979. Sources and characteristics of airborne materials: Pollen. En: *Aerobiology: The Ecological Systems Approach*. pp. 41-55. Stroudburg, Pensilvania.
- SOULÉ, M.E. 1991. Conservation: Tactics for a constant crisis. *science*. **253**: 744-750.
- STERN, C.R. 2004. Active Andean volcanism: its geological and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*. **31**(2): 161-206.
- SUGITA, S. 1994. Pollen representation of vegetation in quaternary sediments: theory and method in patchy vegetation. **82**: 881-897.
- TOGGWEILER, J. 2009. Shifting westerlies. *Science*. **323** (5920): 1434-1435.
- VAN ANDEL, J. 2013. Species interactions structuring plant communities. En VAN DER MAAREL, E. & FRANKLIN, J. *Vegetation ecology*. pp. 203-232. John Wiley and Sons, Oxford.
- VEBLEN, T. & ASHTON, D. 1978. Catastrophic influences on the vegetation of the Valdivian Andes, Chile. *Plant Ecology*. **36**: 149-167.
- VEBLEN, T.T., HILL, R.S., & READ, J., 1996a. *The Ecology and Biogeography of Nothofagus Forests*. Yale University Press.

VEBLEN, T.T.; DONOSO, C.; KITZBERGER, T. & REBERTUS, A. 1996b. Ecology of the southern Chilean and Argentinian Nothofagus forests. In *The Ecology and Biogeography of Nothofagus Forests*, VEBLEN T.T.; HILL, R.S. & READ, J. (eds). pp. 293–353. Yale University Press, New Haven, Connecticut.

VILLAGRÁN, C. 1980. Vegetationsgeschichtliche und pflanzensoziologische Untersuchungen im Vicente Perez Rosales National park (Chile). *Dissertationes Botanicae*. **54**:1-165.

VILLAGRÁN, C. 1985. Análisis palinológico de los cambios vegetacionales durante el Tardiglacial y Postglacial en Chiloé. *Revista Chilena de Historia Natural*. **58**: 57–69.

VILLAGRÁN, C.; VARELA, J.; FUENZALIDA, H.; VEIT, H.; ARMESTO, J.J.; ARAVENA, J.C. & HEDIN, L. 1993. Antecedentes geomorfológicos y vegetacionales para el análisis del Cuaternario de la Región de Los Lagos de Chile. *El Cuaternario en la Región de los Lagos de Chile*. Editorial Universitaria. pp. 51. Santiago, Chile.

VILLA-MARTÍNEZ, R. & MORENO, P.I. 2007. Pollen evidence for variations in the southern margin of the westerly winds in SW Patagonia over the last 12,600 years. *Quaternary Research*. **68**: 400-409.

VILLA-MARTÍNEZ, R.; MORENO, P.I. & VALENZUELA, M.A. 2012. Deglacial and postglacial vegetation changes on the eastern slopes of the central Patagonian Andes (47° S). *Quaternary Science Reviews*. **32**: 86-99.

WHITLOCK, C. & LARSEN, C. 2002. Charcoal as a Fire Proxy. En: SMO, J.P.; BIRKS, H.J.B. & LAST, W.M. (Eds.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, **3**: 75-97.

WILLARD, D. & CRONIN, T. 2007. Paleoecology and ecosystem restoration: case studies from Chesapeake Bay and the Florida Everglades. *Frontiers in Ecology and the Environment* **5**(9): 491–498.

WILMSHURST, J.M. & MCGLONE, M.S. 1996. Forest disturbance in the central North Island, New Zealand, following the 1850 BP Taupo eruption. *The Holocene*. **6**: 399-411.

WOODWARD, F.I. 1987. *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press, Cambridge.

WRIGHT, H. 1974. Landscape development, forest fires, and wilderness management. *Science*. **186**: 487-495.

YOUNG, K.; BERRY, P. & VEBLEN, T. 2007. Flora and Vegetation. En: VEBLEN, T., YOUNG, K. & ORME, A. *The physical geography of South America*, Oxford University Press. pp. 91-100. Oxford, Reino Unido.

SECCIÓN 2. MATERIAL PALINOLÓGICO DE REFERENCIA

INTRODUCCIÓN

El estudio de granos de polen y esporas resulta útil para la paleoecología ya que sus microfósiles son considerados como indicadores paleoambientales de alto poder de resolución en estudios estratigráficos de sedimento lacustre. Estos estudios permiten reconstruir los patrones de distribución de las formaciones vegetales en el pasado, y a partir de ello inferir las condiciones ambientales y climáticas. Un conocimiento detallado de la palinoflora local y regional resulta esencial para asegurar una correcta identificación de estas estructuras, y generar una interpretación fiable de los registros sedimentarios en estudios paleoambientales.

En Chile los estudios de morfología polínica más conocidos son los realizados por Clodomiro Marticorena (Marticorena, 1961, 1962, 1963, 1968; Marticorena & Crisci, 1972; Parra & Marticorena, 1972) y Carolina Villagrán (Villagrán, 1969, 1980). Uno de los trabajos más relevantes en la actualidad es el libro publicado por el botánico y palinólogo estadounidense Calvin J. Heusser, titulado "Pollen and Spores of Chile" de 1971, donde se describen 698 especies distribuidas a lo largo de todo el territorio chileno. La gran cantidad de especies y géneros abarcados en este trabajo lo posiciona como un libro clásico de consulta para estudios paleopalínológicos.

La segunda sección de este seminario de título tiene como objetivo aportar al atlas polínico de Chile a través de un catálogo de granos de polen y esporas presentes en el sector de Lago Negro. Se incluyen fotografías de alta resolución y esquemas que ayuden a una mejor identificación de polen y esporas presentes en esta zona.

METODOLOGÍA

El material polínico se obtuvo a partir de una recopilación de muestras de referencias que han sido recolectadas por diversos integrantes del laboratorio de paleoecología cuaternaria de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, las cuales provienen tanto de material fresco como de diferentes herbarios (Tabla 1). Dentro del universo de referencias obtenidas consideré solo aquellas que presentan la siguiente información: especie identificada, lugar de recolección, distribución en el sector de Lago Negro (Rodríguez y col., 2018; Zuloaga & Morrone, 2009), y cuyas muestras no se encuentren contaminadas.

En la recolección de muestras de referencia se utilizaron 2 métodos, la recolección de flores y/o anteras, las cuales se mantienen sumergidas en agua a 4° C hasta su posterior procesamiento, y la generación de un herbario tradicional donde se considera la presencia de la flor. El procesamiento de las muestras de referencia se realizó según un protocolo estándar para la observación de palinomorfos en microscopía óptica (Faegri & Iversen, 1989). A los concentrados obtenidos se les agregó aceite de silicona como medio de montaje para su posterior observación.

Las descripciones las realicé según la metodología y nomenclatura utilizada por Heusser (1971), tomando en cuenta unidades de polen, polaridad, simetría, tipo, forma y disposición de las aperturas, características estructurales, esculturales y tamaño. La dimensión de estos caracteres polínicos se expresan como mínimo, promedio y máximo. En el caso de granos isopolares, consideré la relación entre el eje polar y ecuatorial (P/E) para definir si el grano es oblado, esferoidal o prolado. Las descripciones fueron acompañadas con material gráfico, el cual fue generado a partir de un microscopio Carl Zeiss Axioskop 2 plus, una cámara Canon 7D y un adaptador Amscope de cámara réflex digital para microscopio y el software Zeiss Axiovision 64 bit edición especial para la medición de los elementos microscópicos. Trabajé con aumentos de 400 y 1000x, generando ilustraciones a partir del software AutoCAD para aportar a un mejor entendimiento de detalles estructurales y esculturales de los granos de polen y esporas.

RESULTADOS

Se analizaron y describieron los granos de polen de 30 especies posibles de encontrar en el sector de Lago Negro: 4 pteridófitas, 3 gimnospermas y 23 angiospermas dicotiledóneas.

En total se consideraron 28 especies nativas, además de *Pinus radiata*, por ser una especie indicadora del impacto antrópico en estudios paleoecológicos, y *Ephedra chilensis* que, aunque su distribución actual no considera Golfo Corcovado, aparece en estudios paleopalinológicos de la zona.

Tabla 3. Material estudiado. SGO: Herbario Museo Nacional de Historia Natural, EIF: Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.

Nº	Material de Estudio	Distribución	Puntos de Recolección
1	Adiantaceae, <i>Adiantum chilense</i>	Nativa; I a XII	Valdivia, XIV Región
2	Aspleniaceae, <i>Pleurosorus papaverifolius</i>	Nativa; IV a XII	Región de los Lagos
3	Blechnaceae, <i>Blechnum hastatum</i>	Nativa; IV a X	Puerto Fonk, X Región
4	Gleicheniaceae, <i>Sticherus quadripartitus</i>	Nativa; VIII a XII	Parque Nacional Alerce Andino, X Región
5	Ephedraceae, <i>Ephedra chilensis</i>	Nativa; XV a IX	Maipú, Santiago, RM
6	Pinaceae, <i>Pinus radiata</i>	Introducida; VI a X	Lago Pichilafquen, X Región
7	Podocarpaceae, <i>Saxegothaea conspicua</i>	Nativa; VII a XI	Parque Nacional Alerce Andino, X Región
8	Aextoxicaceae, <i>Aextoxicon punctatum</i>	Nativa; IV a X	Cerro los Robles, VII Región
9	Anacardiaceae, <i>Schinus polygamus</i>	Nativa; III a X	Campus Juan Gómez Milla, Santiago, RM
10	Berberidaceae, <i>Berberis darwinii</i>	Nativa; RM a XI	P297 University of Maine
11	Bignoniaceae, <i>Campsidium valdivianum</i>	Nativa; VII a XII	SGO, Código: 075659
12	Celastraceae, <i>Maytenus boaria</i>	Nativa; III a XII	Campus Juan Gómez Milla, Santiago, RM
13	Celastraceae, <i>Maytenus disticha</i>	Nativa; VII a XII	Lago Escondido/Seno Skyring, XII Región
14	Cunoniaceae, <i>Caldcluvia paniculata</i>	Nativa; VII a XI	Puerto Fonk, X Región
15	Cunoniaceae, <i>Weinmannia trichosperma</i>	Nativa; VII a XII	Curacautín, IX Región
16	Elaeocarpaceae, <i>Aristotelia chilensis</i>	Nativa; IV a XI	Reserva Nacional Río Clarillo, RM
17	Elaeocarpaceae, <i>Crinodendron hookerianum</i>	Nativa; IX a X	Proshle, X Región
18	Gesneriaceae, <i>Mitraria coccinea</i>	Nativa; IV a XII	Puerto Fonk, X Región
19	Malvaceae, <i>Corynabutilon vitifolium</i>	Nativa; V a X	SGO, Código: 105319
20	Myrtaceae, <i>Amomyrtus luma</i>	Nativa; VII a XI	Puyehue, X Región
21	Nothofagaceae, <i>Nothofagus antarctica</i>	Nativa; XIV a XII	Volcán Calbuco, X Región
22	Nothofagaceae, <i>Nothofagus nitida</i>	Nativa; XIV a XII	Parque Nacional Alerce Andino, X Región
23	Nothofagaceae, <i>Nothofagus pumilio</i>	Nativa; VII a XII	Puyehue, X Región
24	Onagraceae, <i>Fuchsia magellanica</i>	Nativa; V a XII	Curacautín - Buenavista, IX Región
25	Onagraceae, <i>Oenothera acaulis</i>	Nativa; IV a X	Los Molles, V Región
26	Proteaceae, <i>Embothrium coccineum</i>	Nativa; VII a XII	Parque Nacional Torres del Paine, XII Región
27	Proteaceae, <i>Lomatia hirsuta</i>	Nativa; IV a X	Campus Juan Gómez Milla, Santiago, RM
28	Scrophulariaceae, <i>Buddleja globosa</i>	Nativa; XV a X	Curacautín, IX Región
29	Verbenaceae, <i>Rhaphithamnus spinosus</i>	Nativa; IV a XI	Curacautín, IX Región
30	Winteraceae, <i>Drimys winteri</i>	Nativa; IV a XII	Campus Juan Gómez Milla, Santiago, RM

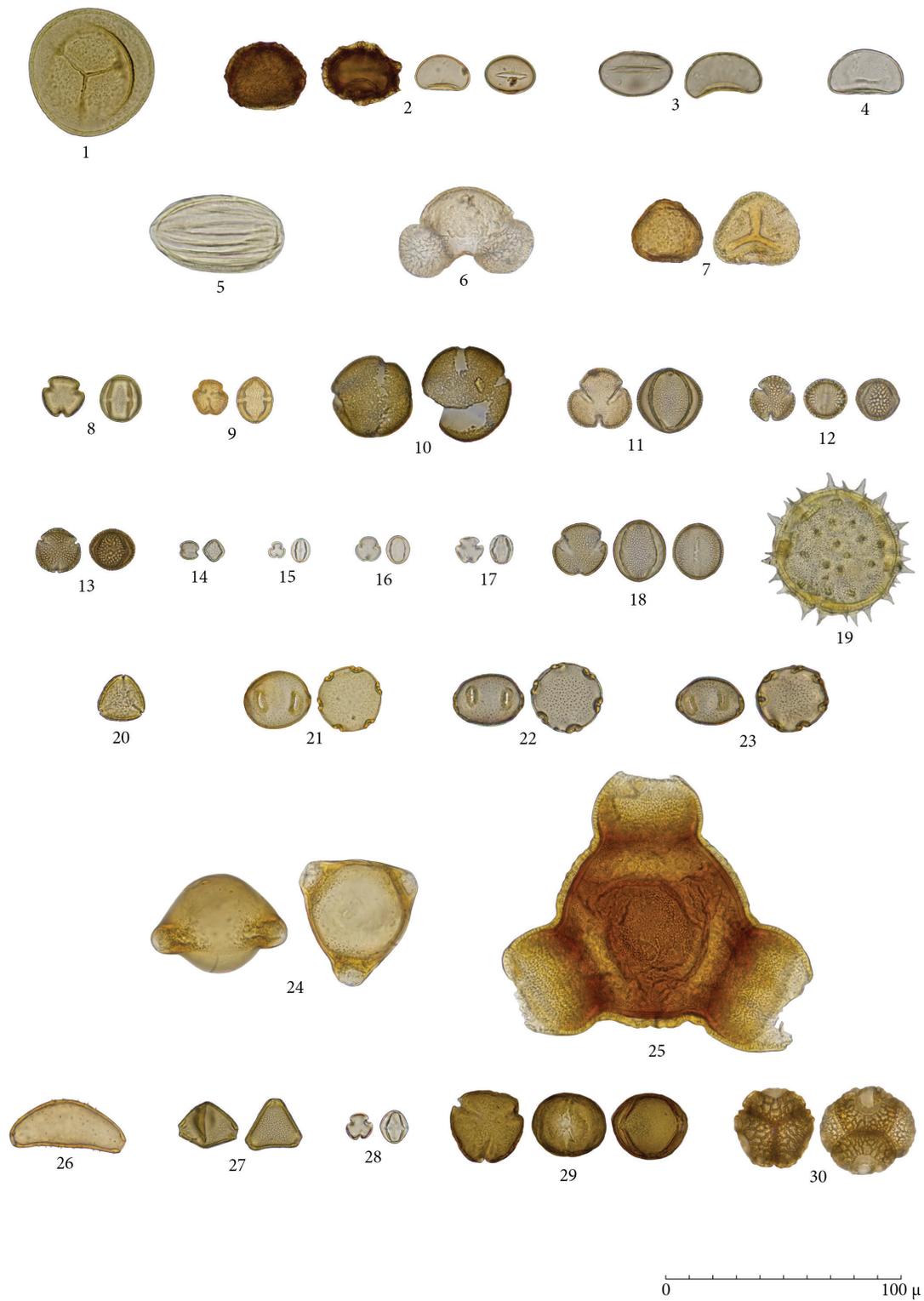


Figura 12. Relación de tamaños de los granos de polen analizados. Los números corresponden a la Tabla 1.

PTERIDOPHYTA

Pteridaceae

Adiantum chilense (Lámina 1, Figura 1; Lámina 7, Figura 1)

Mónada, heteropolar, radiosimétrico; trilete, lesura tripartita ubicada en la cara proximal, con brazos de 11,29 (16,47) 22,44 μm de largo; ámbito esferoidal-subtriangular, subcónico-convexo en vista ecuatorial (Barrera & Rancusi, 1975.); exina 0,89 (1,37) 1,86 μm , perisporio delgado adherido a la exina (Barrera & Rancusi, 1975.); granuloso; ámbito de 44,37 (51,96) 63,57 μm x 45,41 (54,16) 66,57 μm .

Aspleniaceae

Pleurosorus papaverifolius (Lámina 1, Figura 2 y 3; Lámina 7, Figura 2)

Mónada, heteropolar, bilateral; monolete de 10,88 (14,68) 17,98 μm de largo; ámbito elíptico, plano-convexo en vista ecuatorial; exina de 0,76 (1,14) 1,37 μm de grosor, cubierto normalmente por un perisporio en pliegues de 1,84 (3,22) 5,67 μm de alto; escabrado; 10,57 (16,61) 19,83 μm x 22,04 (24,95) 29,46 μm en vista ecuatorial.

Blechnaceae

Blechnum hastatum (Lámina 1, Figura 4; Lámina 7, Figura 3)

Mónada, heteropolar, bilateral; monolete de 15,61 (22,57) 30,28 μm ; ámbito elíptico, plano-convexo en vista ecuatorial; exina de 0,62 (0,96) 1,36 μm de grosor, perisporio delgado muy adherido; con verrugas

espaciadas. (Barrera & Rancusi, 1975); escabrado; 13,47 (18,61) 23,54 μm x 22,9 (32,12) 38,00 μm en vista ecuatorial.

Gleicheniaceae

Sticherus quadripartitus (Lámina 1, Figura 5; Lámina 7, Figura 4)

Mónada, heteropolar, bilateral; monolete de 20,53 (22,19) 24,21 μm de largo; ámbito elíptico, plano-convexo en vista ecuatorial; exina de 0,75 (1,29) 1,61 μm de grosor; escabrado; 12,22 (14,86) 18,15 μm x 26,45 (30,00) 32,18 μm en vista ecuatorial.

GYMNOSPERMAE

Ephedraceae

Ephedra chilensis (Lámina 2, Figura 6; Lámina 7, Figura 5)

Mónada, isopolar; inaperturado; poliplicado, con 1,48 (3,50) 9,67 μm de distancia entre pliegues; prolado (P/E= 1,73); exina de 0,9 (1,47) 2,11 μm de grosor, engrosándose en los polos; psilado; 52,05 (58,65) 68,91 μm x 27,64 (33,86) 43,03 μm .

Pinaceae

Pinus radiata (Lámina 2, Figura 7; Lámina 7, Figura 6)

Mónada, heteropolar, bilateral; vesiculoso, con 2 sacos divergentes dispuestos lateralmente; exina de 1,5 (2,19) 3,87 μm de grosor en el corpus; escabrado y reticulado en corpus y sacos, respectivamente; Corpus de 23,03 (28,49) 37,98 μm x 31,74 (39,25) 49,68 μm , sacos de 20,36 (28,77)

38,64 μm x 12,72 (22,51) 32,06 μm ; y una longitud total del grano de 50,24 (58,90) 71,92 μm .

Podocarpaceae

Saxegothaea conspicua (Lámina 2, Figura 8; Lámina 8, Figura 7)

Mónada, heteropolar, radiosimétrico; inaperturado, aunque en algunos se puede observar un pseudotrilete con brazos de 9,21 (11,20) 12,15 μm de largo, ubicado en la cara proximal (Gamerro, 1995); ámbito esferoidal-subtriangular; exina de 1,63 (2,36) 2,94 μm de grosor; escabrado; 23,58 (29,68) 34,45 μm x 27,87 (32,61) 38,1 μm .

ANGIOSPERMAE

Aextoxicaceae

Aextoxicon punctatum (Lámina 3, Figura 9; Lámina 8, Figura 8)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado lalongado; prolado-esferoidal en vista ecuatorial (P/E= 1,05), ámbito circular-subtriangular; exina de 0,94 (1,30) 1,69 μm de grosor; psilado (Heusser, 1971); 15,77 (18,39) 20,46 μm x 14,88 (17,46) 19,86 μm en vista ecuatorial.

Anacardiaceae

Schinus polygamus (Lámina 3, Figura 10; Lámina 8, Figura 9)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado lalongado, colpos alargados, poros bien definidos; prolado en vista ecuatorial (P/E= 1,34), ámbito circular-subtriangular;

exina de 0,89 (1,21) 1,6 μm de grosor; estriado; 18,64 (20,28) 22,65 μm x 13,75 (15,14) 17,28 μm en vista ecuatorial.

Berberidaceae

Berberis darwinii (Lámina 3, Figura 11; Lámina 8, Figura 10)

Mónada, apolar; espirocolpado, con colpos irregulares, asemejándose a una pelota de tenis; circular, aunque normalmente se encuentra roto a partir de sus aperturas; exina de 0,74 (1,19) 1,82 μm de grosor; tectado, tectum perforado; 27,81 (31,15) 34,31 μm x 28,7 (32,40) 35,14 μm .

Bignoniaceae

Campsidium valdivianum (Lámina 3, Figura 12; Lámina 8, Figura 11)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado; oblado-esferoidal en vista ecuatorial (P/E= 0,98), ámbito circular-subtriangular; exina de 1,25 (1,46) 1,61 μm de grosor; tectado, tectum perforado; 24, 28 (26,24) 27,83 μm x 25,85 (26,66) 27,75 μm en vista ecuatorial.

Celastraceae

Maytenus boaria (Lámina 3, Figura 13; Lámina 8, Figura 12)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado; oblado-esferoidal en vista ecuatorial (P/E= 0,93), ámbito circular-subtriangular; exina de 0,77 (1,45) 2,06 μm de grosor; reticulado, heterobrocado, lumen de 1,11 (1,64) 2,22 μm de diámetro, disminuyendo desde el mesocolpo hacia los polos; 15,69 (17,08) 18,71 μm x 17,05 (18,33) 19,91 μm en vista ecuatorial.

Maytenus disticha (Lámina 3, Figura 14; Lámina 9, Figura 13)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado; oblado-esferoidal en vista ecuatorial (P/E= 0,89), ámbito circular-subtriangular; exina de 1,59 (1,83) 2,28 μm de grosor; reticulado, heterobrocado, lumen de 0,72 (1,18) 1,45 μm de diámetro, disminuyendo desde el mesocolpo hacia los polos; 16,33 (17,74) 19,99 μm x 16,50 (19,90) 21,44 μm en vista ecuatorial.

Cunoniaceae

Caldcluvia paniculata (Lámina 4, Figura 15; Lámina 9, Figura 14)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; dicolporado; prolado-esferoidal en vista ecuatorial (P/E=1,12), ámbito subcircular; exina de 0,54 (0,75) 1,02 μm de grosor; reticulado; 8,28 (9,18) 10,1 μm x 7,63 (8,23) 8,88 μm , en vista ecuatorial.

Weinmannia trichosperma (Lámina 4, Figura 16; Lámina 9, Figura 15)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado; subprolado en vista ecuatorial (P/E= 1,32), ámbito circular-subtriangular; exina 0,48 (0,72) 0,91 μm de grosor; escabrado; 9,33 (10,03) 11,06 μm x 6,95 (7,57) 8,61 μm en vista ecuatorial.

Elaeocarpaceae

Aristotelia chilensis (Lámina 4, Figura 17; Lámina 9, Figura 16)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado, colpos estrechos, poros poco visibles; subprolado en vista ecuatorial (P/

E= 1,26), ámbito circular-subtriangular; exina de 0,63 (0,69) 0,78 μm de grosor; escabrado; 12,14 (13,42) 14,74 μm x 9,13 (10,68) 12,18 μm en vista ecuatorial.

Crinodendron hookerianum (Lámina 4, Figura 18; Lámina 9, Figura 17)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado; subprolado en vista ecuatorial (P/E= 1,16), ámbito circular-subtriangular; exina < a 1 μm de grosor; psilado; 11,43 (12,62) 13,76 μm x 9,46 (10,87) 12,49 μm en vista ecuatorial.

Gesneriaceae

Mitraria coccinea (Lámina 4, Figura 19; Lámina 9, Figura 18)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado, con poros poco definidos; prolado-esferoidal en vista ecuatorial (P/E= 1,10), ámbito circular-subtriangular; exina de 0,91 (1,06) 1,23 μm de grosor; tectado, tectum perforado; 22,68 (24,35) 26,15 μm x 20,60 (22,14) 25,42 μm en vista ecuatorial.

Malvaceae

Corynabutilon vitifolium (Lámina 4, Figura 20; Lámina 10, Figura 19)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado, colpos cortos y angostos (Heusser, 1971), poros circulares; circular; exina de 2,01 (2,65) 3,35 μm de grosor; equinado, con equinas de 5,42 (6,00) 6,94 μm de alto y 2,84 (2,99) 3,13 μm de diámetro; 51,14 (53,25) 56,19 μm x 50,94 (51,51) 52,34 μm .

Myrtaceae

Amomyrtus luma (Lámina 4, Figura 21; Lámina 10, Figura 20)

Mónada, isopolar radiosimétrico; tri o tetracolporado, con las aperturas situadas en los ángulos del grano, colpos largos, apocolpo hundido; ámbito triangular, oblado en vista ecuatorial; exina de 0,95 (1,42) 1,90 μm de grosor; escabrado-verrugado; ámbito de 18,07 (19,85) 22,42 μm x 17,29 (20,47) 23,49 μm .

Nothofagaceae

Nothofagus antarctica (Lámina 5, Figura 22; Lámina 10, Figura 21)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; estefanoaperturado con 5, 6 o 7 aperturas con una frecuencia de 15,4%, 77% y 7,7% respectivamente, y que se distinguen por estar rodeadas por un anillo de 1,2 (2,23) 3,04 μm de grosor; ámbito circular, oblado en vista ecuatorial; exina de 0,69 (0,93) 1,19 μm de grosor; microequinado, con elementos de la escultura dispersos heterogéneamente por toda la pared del grano; ámbito de 26,32 (28,53) 31,91 μm x 26,22 (28,46) 29,98 μm .

Nothofagus nitida (Lámina 5, Figura 23; Lámina 10, Figura 22)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; estefanoaperturado con 6 aperturas que se distinguen por estar rodeadas por un anillo de 1,21 (2,42) 3,4 μm de grosor; ámbito circular, oblado en vista ecuatorial; exina de 0,82 (0,96) 1,17 μm de grosor; microequinado, con elementos de la escultura dispersos heterogéneamente por

toda la pared del grano; ámbito de 25,82 (29,94) 32,67 μm x 26,62 (29,11) 31,51 μm .

Nothofagus pumilio (Lámina 5, Figura 24; Lámina 10, Figura 23)

Mónada, isopolar radiosimétrico; estefanoaperturado con 5, 6 o 7 aperturas con una frecuencia de 10%, 70% y 20% respectivamente, y que se distinguen por estar rodeadas por un anillo de 0,78 (1,64) 2,57 μm de grosor; ámbito circular, oblado en vista ecuatorial; exina de 0,6 (0,92) 1,48 μm de grosor; microequinado, con elementos de la escultura dispersos heterogéneamente por toda la pared del grano; ámbito de 24,39 (27,07) 29,96 μm x 20,23 (27,62) 31,55 μm .

Onagraceae

Fuchsia magellanica (Lámina 5, Figura 25; Lámina 10, Figura 24)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado, con aperturas protuberantes en forma de áspide (Heusser, 1971), situadas en los ángulos del grano, poros de 8,46 (9,79) 11,48 μm x 5,6 (7,20) 8,67 μm , y pequeños colpos de 18,6 x 4,63 μm difícilmente observables al microscopio óptico; ámbito triangular; exina de 2,11 (2,91) 3,69 μm de grosor; psilado, con pequeñas perforaciones dispersas heterogéneamente rodeando las aperturas; ámbito de 42,75 (50,61) 56,29 μm x 49,2 (55,79) 63,8 μm .

Oenothera acaulis (Lámina 5, Figura 26; Lámina 11, Figura 25)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tripora-

do, con aperturas protuberantes en forma de áspide, de 44,02 (47,72) 52,63 μm x 25,1 (29,92) 32,81 μm , situadas en los ángulos del grano; ámbito triangular; exina de 3,66 (6,45) 7,89 μm de grosor; granulado; ámbito de 105,14 (109,80) 116,07 μm x 107,78 (111,81) 116,42 μm .

Proteaceae

Embothrium coccineum (Lámina 6, Figura 27; Lámina 11, Figura 26)

Mónada, heteropolar, bilateral; diporado, aperturas circulares de 3,53 (4,39) 6,47 μm de diámetro, rodeadas por un anillo de 0,7 (0,98) 1,47 μm de grosor; ámbito elíptico, plano-convexo en vista ecuatorial; exina de 1,35 (1,77) 2,00 μm de grosor; microequinado, con microequinas de 0,95 (1,34) 1,52 μm de diámetro, con elementos de la escultura dispersos heterogéneamente por toda la pared del grano; 17,52 (19,23) 21,52 μm x 39,67 (42,09) 49,05 μm en vista ecuatorial.

Lomatia hirsuta (Lámina 6, Figura 28; Lámina 11, Figura 27)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; triporado, con poros circulares de 2,72 (3,73) 4,69 μm de diámetro, situados en los ángulos del grano; ámbito triangular, plano convexo en vista ecuatorial; exina de 1,31 (1,55) 1,86 μm de grosor; reticulado; ámbito de 20,73 (21,86) 23,86 μm x 21,49 (22,60) 24,3 μm .

Scrophulariaceae

Buddleja globosa (Lámina 6, Figura 29; Lámina 11, Figura 28)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado; subprolado (P/E= 1,23), ámbito circular-subtriangular; exina de 0,59 (0,81) 1,04 μm de grosor; psilado; 12,64 (14,14) 16,26 μm x 10,49 (11,50) 12,73 μm en vista ecuatorial.

Verbenaceae

Rhaphithamnus spinosus (Lámina 6, Figura 30; Lámina 11, Figura 29)

Mónada, isopolar, radiosimétrico; tricolporado; suboblado (P/E= 0,87), ámbito circular-subtriangular; exina de 1,07 (1,55) 2,04 μm de grosor; foveolado; 25,62 (29,51) 33,31 μm x 31,54 (33,99) 39,14 μm en vista ecuatorial.

Winteraceae

Drimys winteri (Lámina 6, Figura 31; Lámina 11, Figura 30)

Tétrada, tetraédrica; unidades con ámbito circular, oblado en vista ecuatorial, monoporadas, con poros de 6,27 (9,18) 11,19 μm de diámetro, rodeado por un campo de 12,56 (14,82) 16,76 μm de diámetro; exina de 1,38 (2,66) 3,97 μm de grosor; reticulado; mónadas de 23,84 (26,38) 28,58 μm de diámetro, tétrada de 31,44 (35,06) 41,29 μm x 29,01 (33,30) 37,51 μm .



Lámina 1. Adiantaceae: *Adiantum chilense* (1); Aspleniaceae: *Pleurosorus papaverifolius* (2,3); Blechnaceae: *Blechnum hastatum* (4); Gleicheniaceae: *Sticherus quadripartitus* (5).



6



7



8



Lámina 2. Ephedraceae: *Ephedra chilensis* (6); Pinaceae: *Pinus radiata* (7); Podocarpaceae: *Saxegothea conspicua* (8).

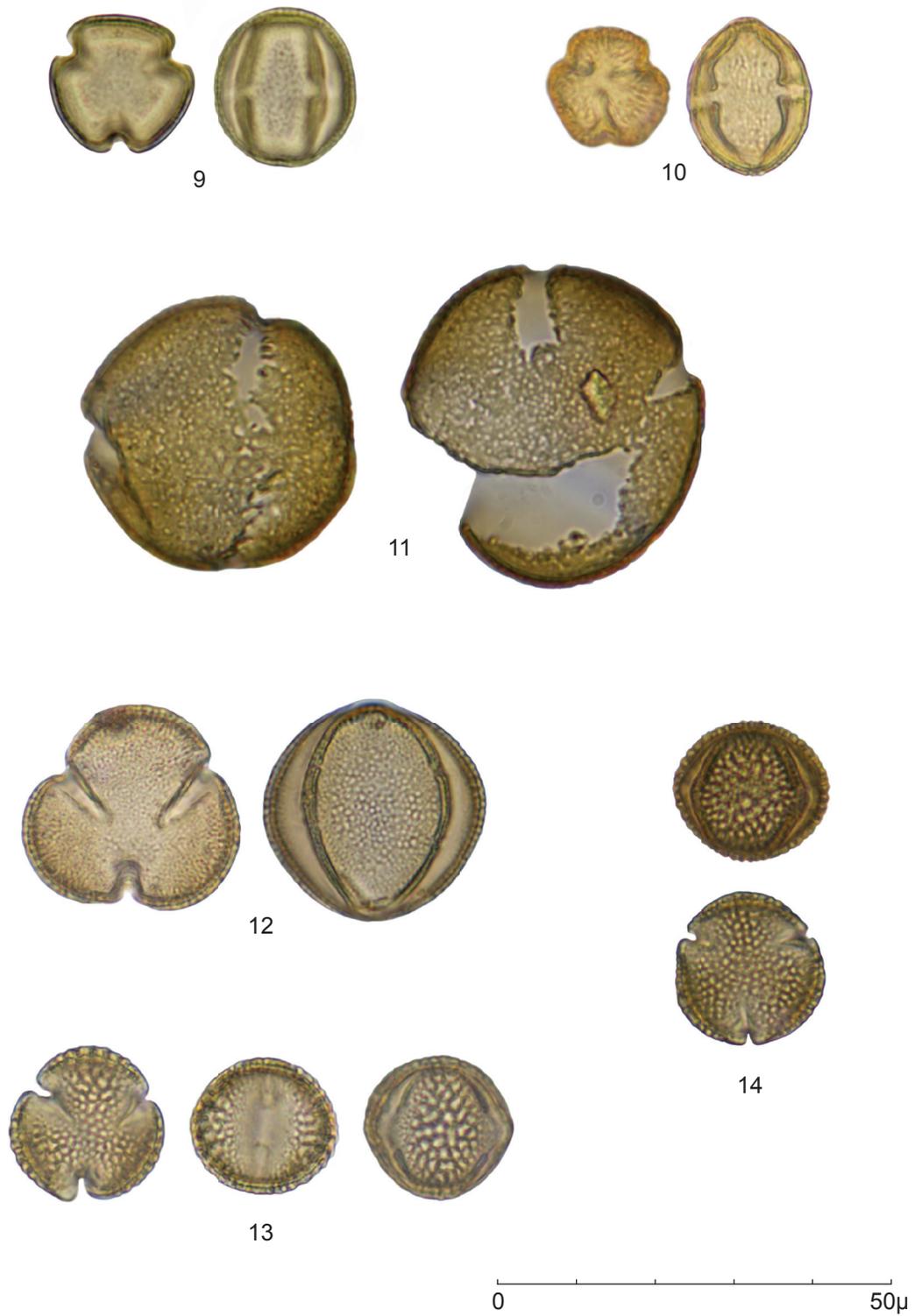


Lámina 3. Aextoxicaceae: *Aextoxicon punctatum* (9); Anacardiaceae: *Schinus polygamus* (10); Berberidaceae: *Berberis darwinii* (11); Bignoniaceae: *Campsidium valdivianum* (12); Celastraceae: *Maytenus boaria* (13), *Maytenus disticha* (14).

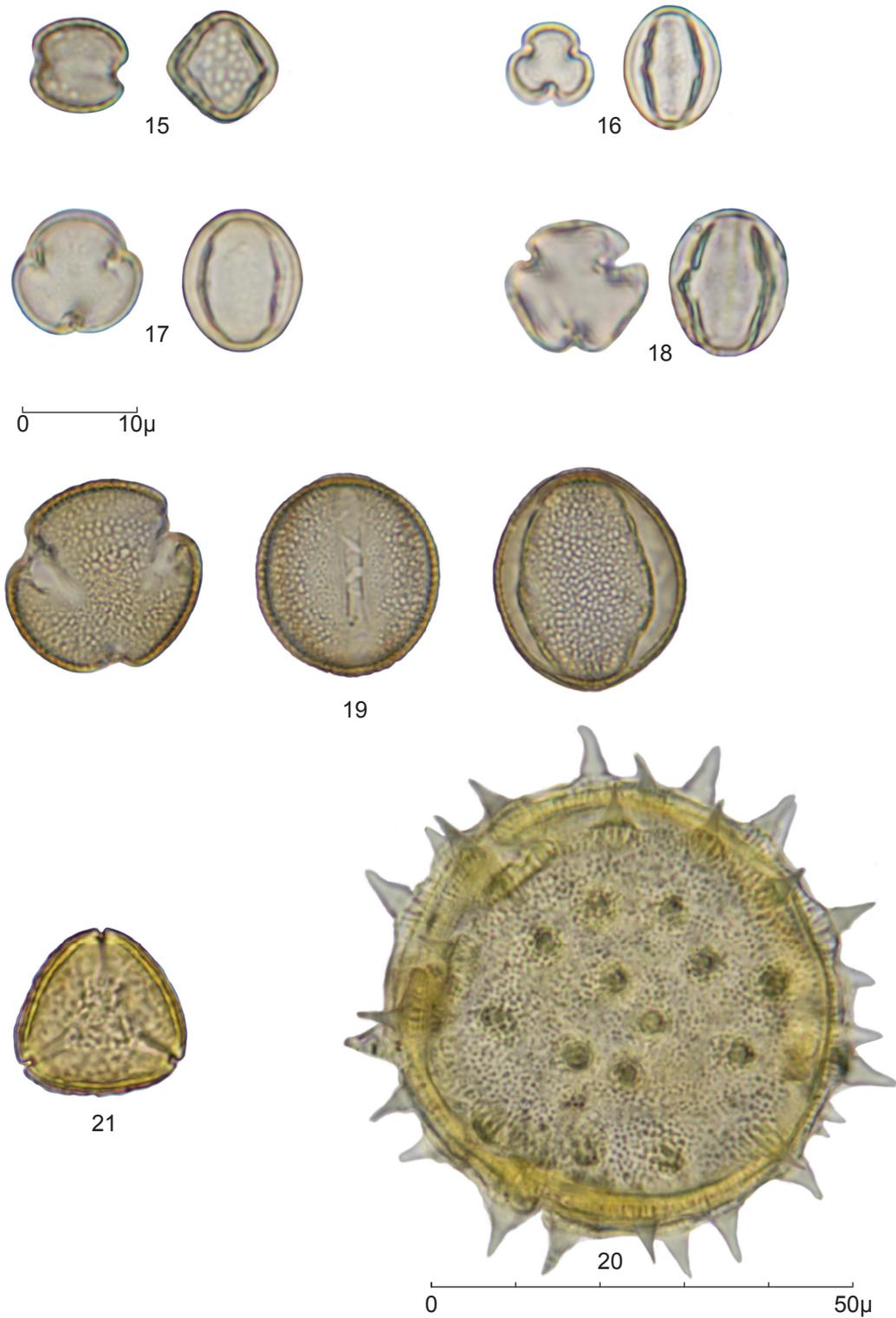
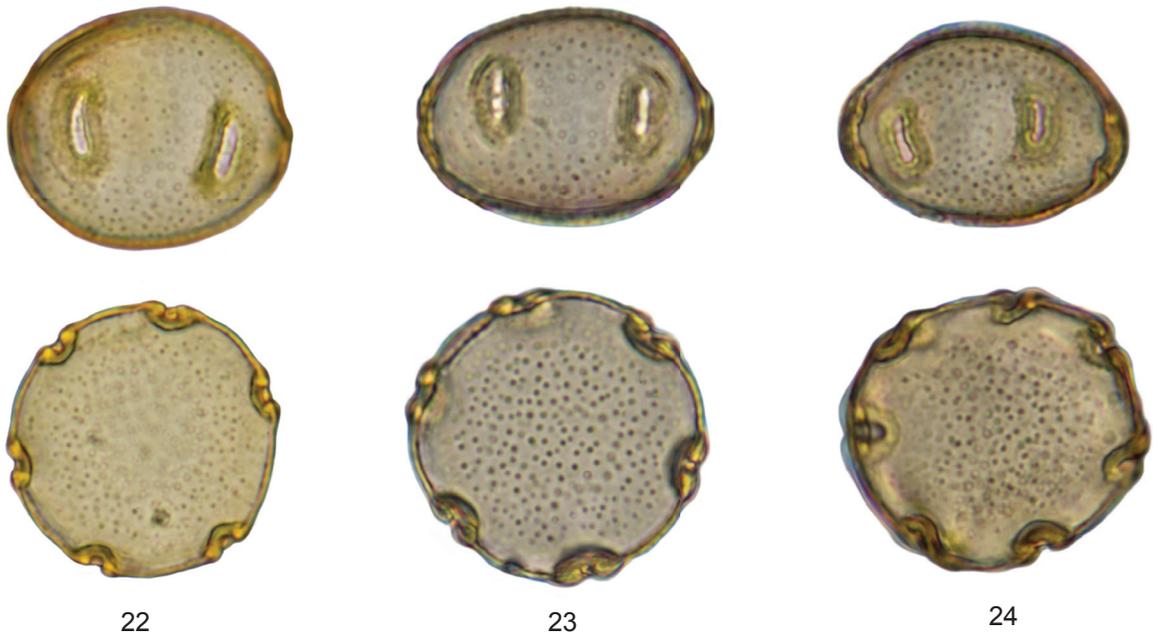


Lámina 4. Cunoniaceae: *Caldcluvia paniculata* (15), *Weinmannia trichosperma* (16);
 Elaeocarpaceae: *Aristolelia chilensis* (17), *Crinodendron hookerianum* (18); Gesneriaceae:
Mitraria coccinea (19); Malvaceae: *Corynabutilon vitifolium* (20); Myrtaceae: *Amomyrtus luma*
 (21).



0 50μ



25



26

0 50μ

0 50μ

Lámina 5. Nothofagaceae: *Nothofagus antarctica* (22), *N. nitida* (23); *N. pumilio* (24); Onagraceae: *Fuchsia magellanica* (25), *Oenothera acaulis* (26).

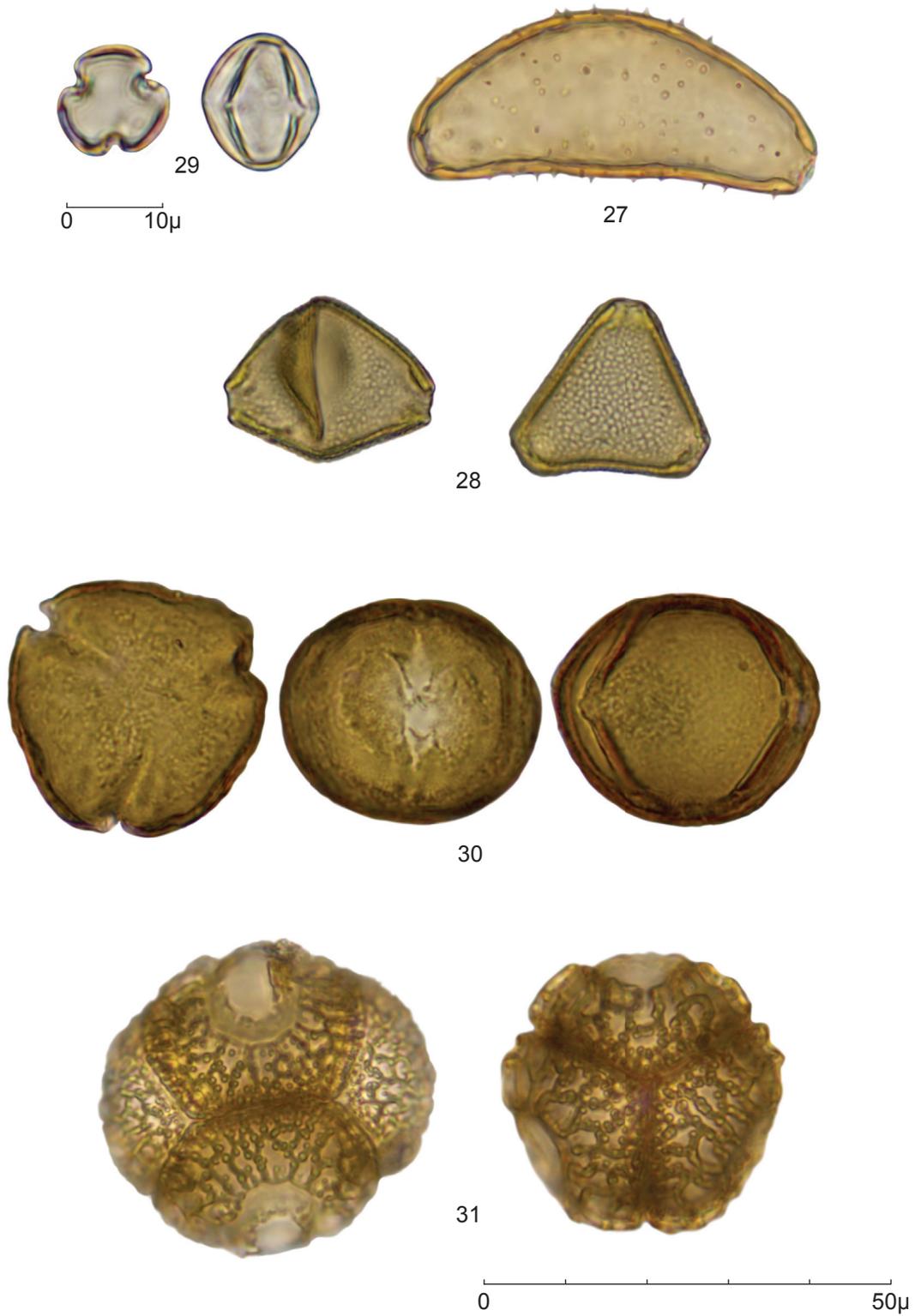


Lámina 6. Proteaceae: *Embothrium coccineum* (27), *Lomatia hirsuta* (28); Scrophulariaceae: *Buddleja globosa* (29); Verbenaceae: *Rhaphithamnus spinosus* (30); Winteraceae: *Drimys winteri* (31).

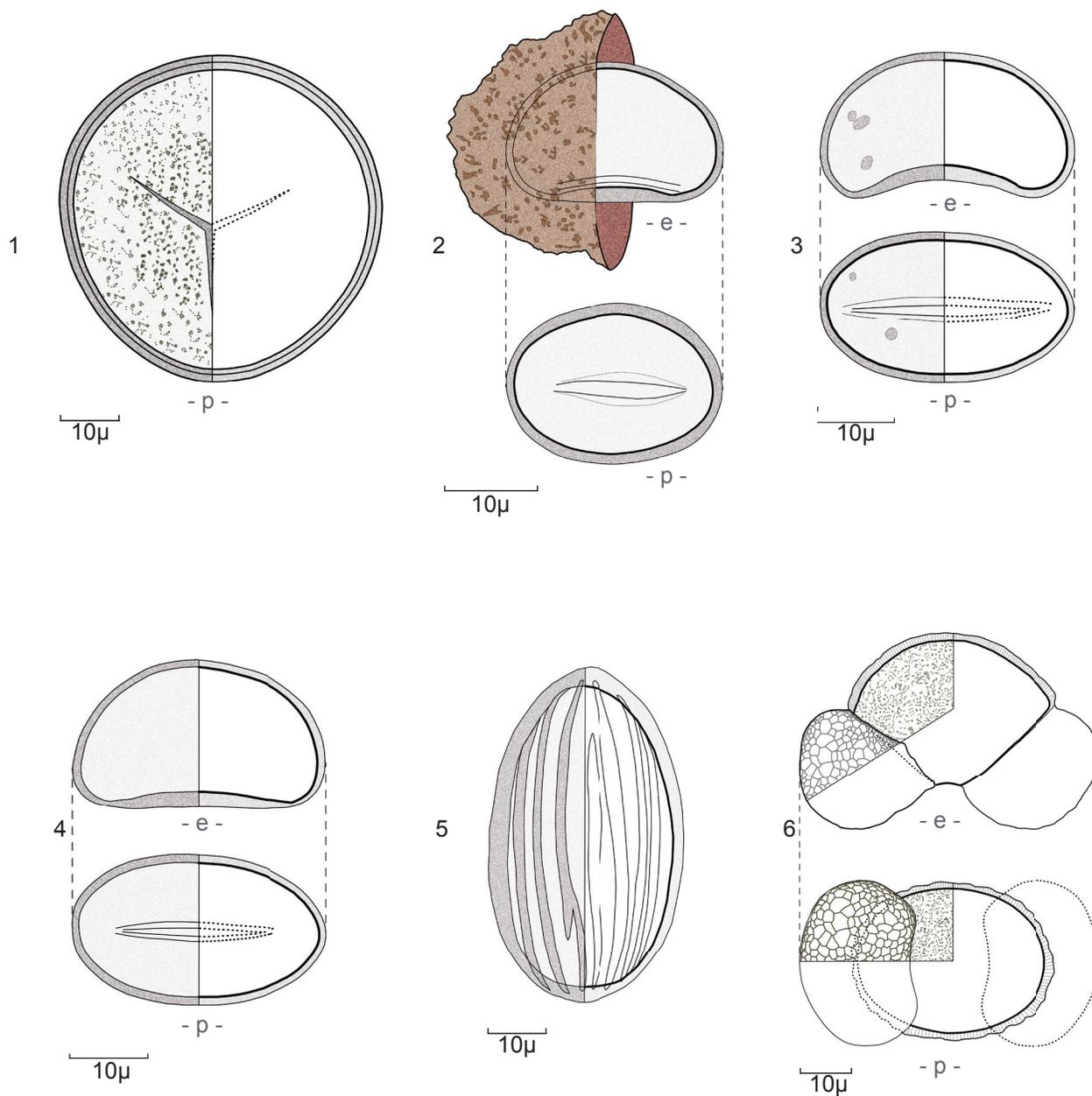


Lámina 7. Esquemas de Adiantaceae: *Adiantum chilense* (1); Aspleniaceae: *Pleurosorus papaverifolius* (2); Blechnaceae: *Blechnum hastatum* (3); Gleicheniaceae: *Sticherus quadripartitus* (4); Ephedraceae: *Ephedra chilensis* (5); Pinaceae: *Pinus radiata* (6).

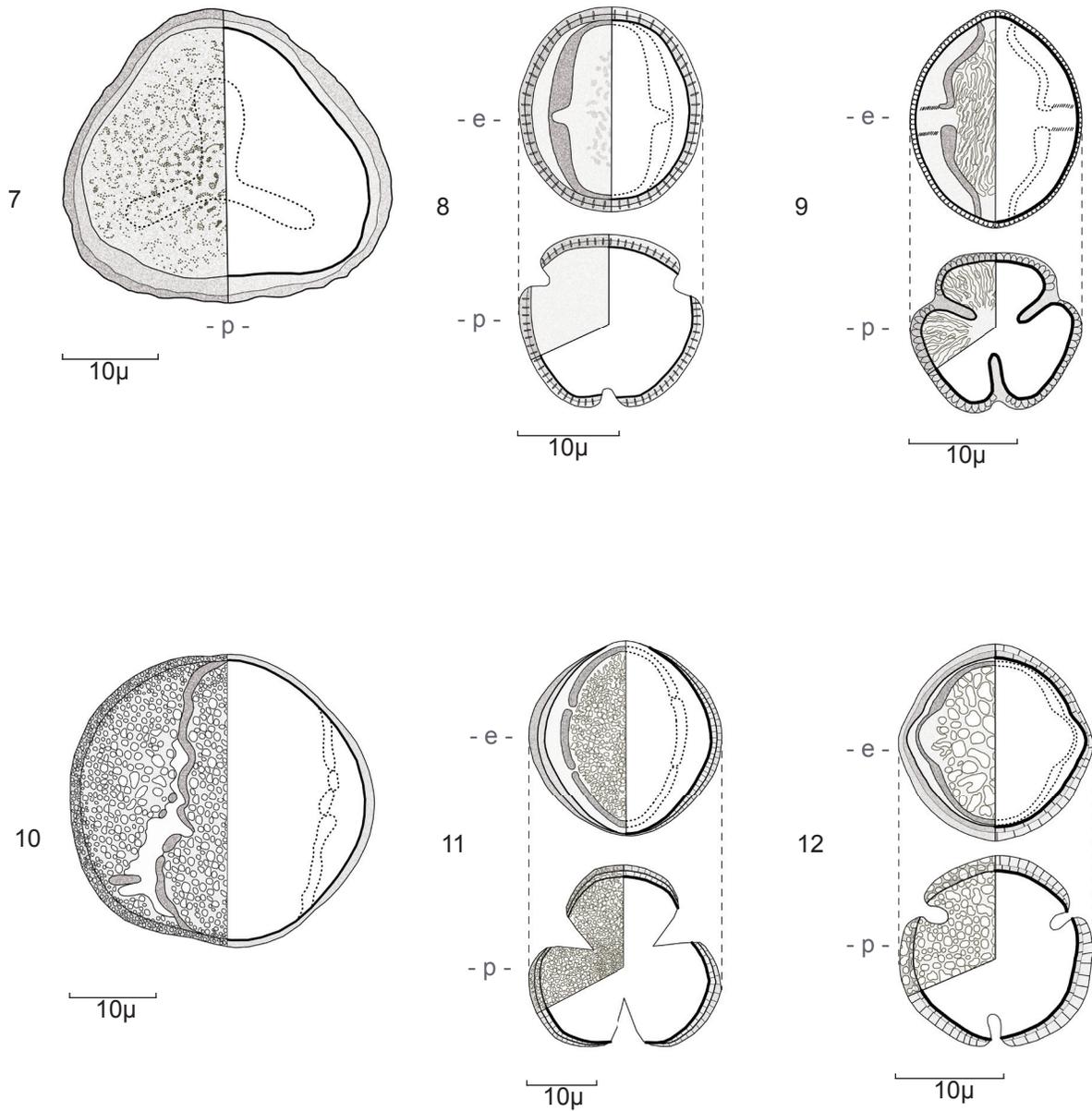


Lámina 8. Esquemas de Podocarpaceae: *Saxegothaea conspicua* (7); Aextoxicaceae: *Aextoxicon punctatum* (8); Anacardiaceae: *Schinus polygamus* (9); Berberidaceae: *Berberis darwinii* (10); Bignoniaceae: *Campsidium valdivianum* (11); Celastraceae: *Maytenus boaria* (12).

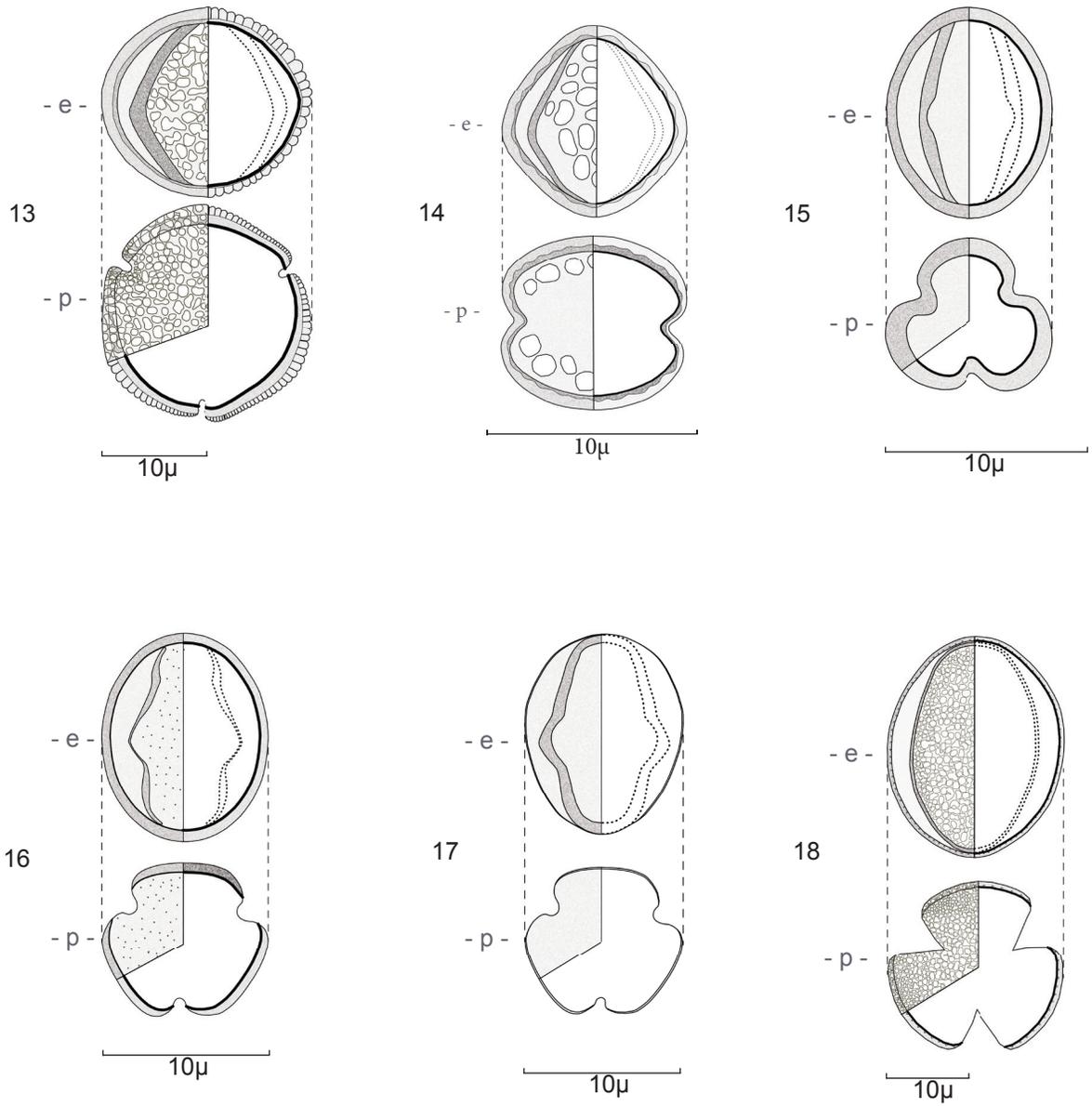


Lámina 9. Esquemas de Celastraceae: *Maytenus disticha* (13); Cunoniaceae: *Caldcluvia paniculata* (14), *Weinmannia trichosperma* (15); Elaeocarpaceae: *Aristotelia chilensis* (16), *Crinodendron hookerianum* (17); Gesneriaceae: *Mitraria coccinea* (18).

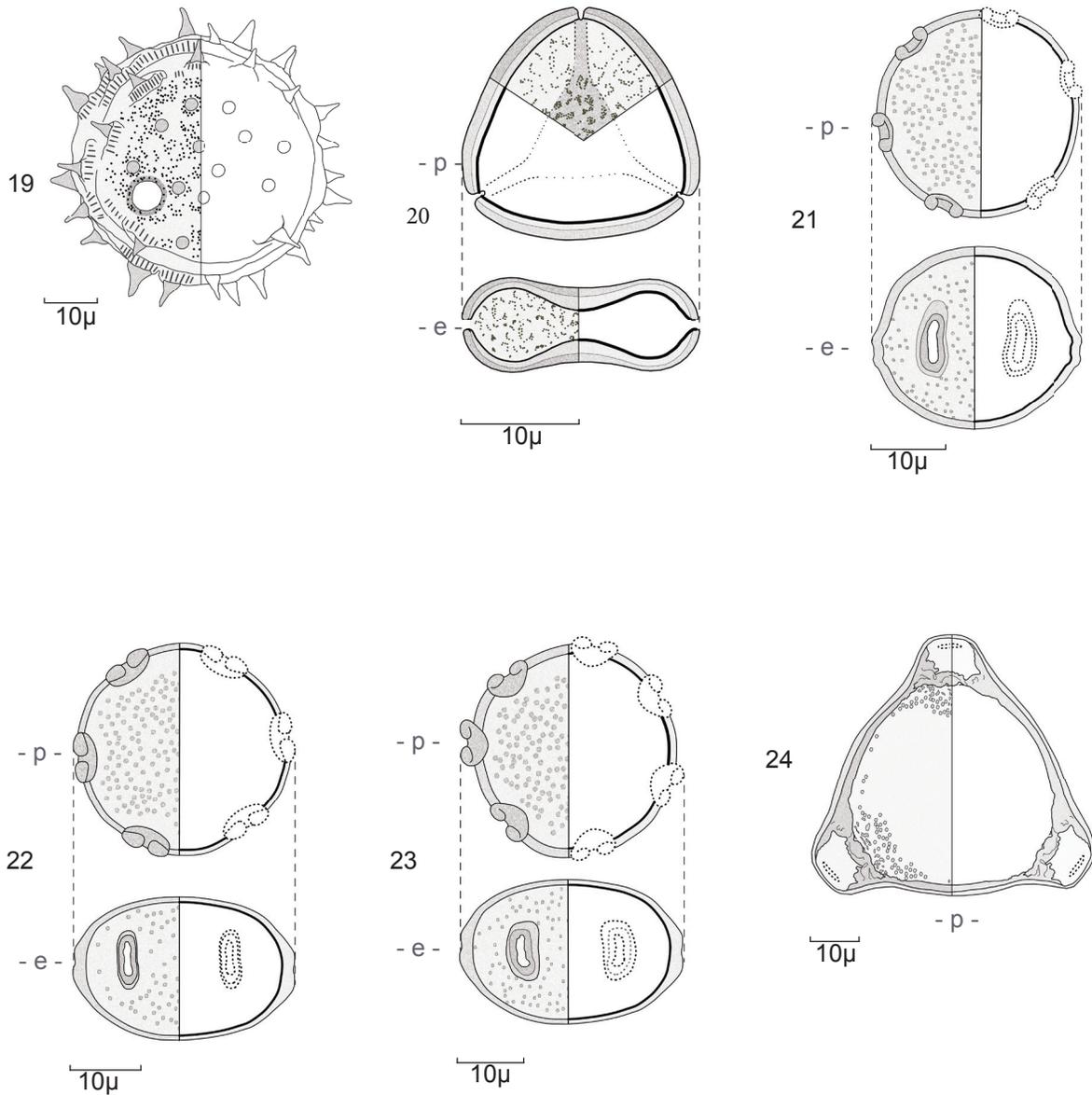


Lámina 10. Esquemas de Malvaceae: *Corynabutilon vitifolium* (19); Myrtaceae: *Amomyrtus luma* (20); Nothofagaceae: *Nothofagus antarctica* (21), *N. nitida* (22); *N. pumilio* (23); Onagraceae: *Fuchsia magellanica* (24).

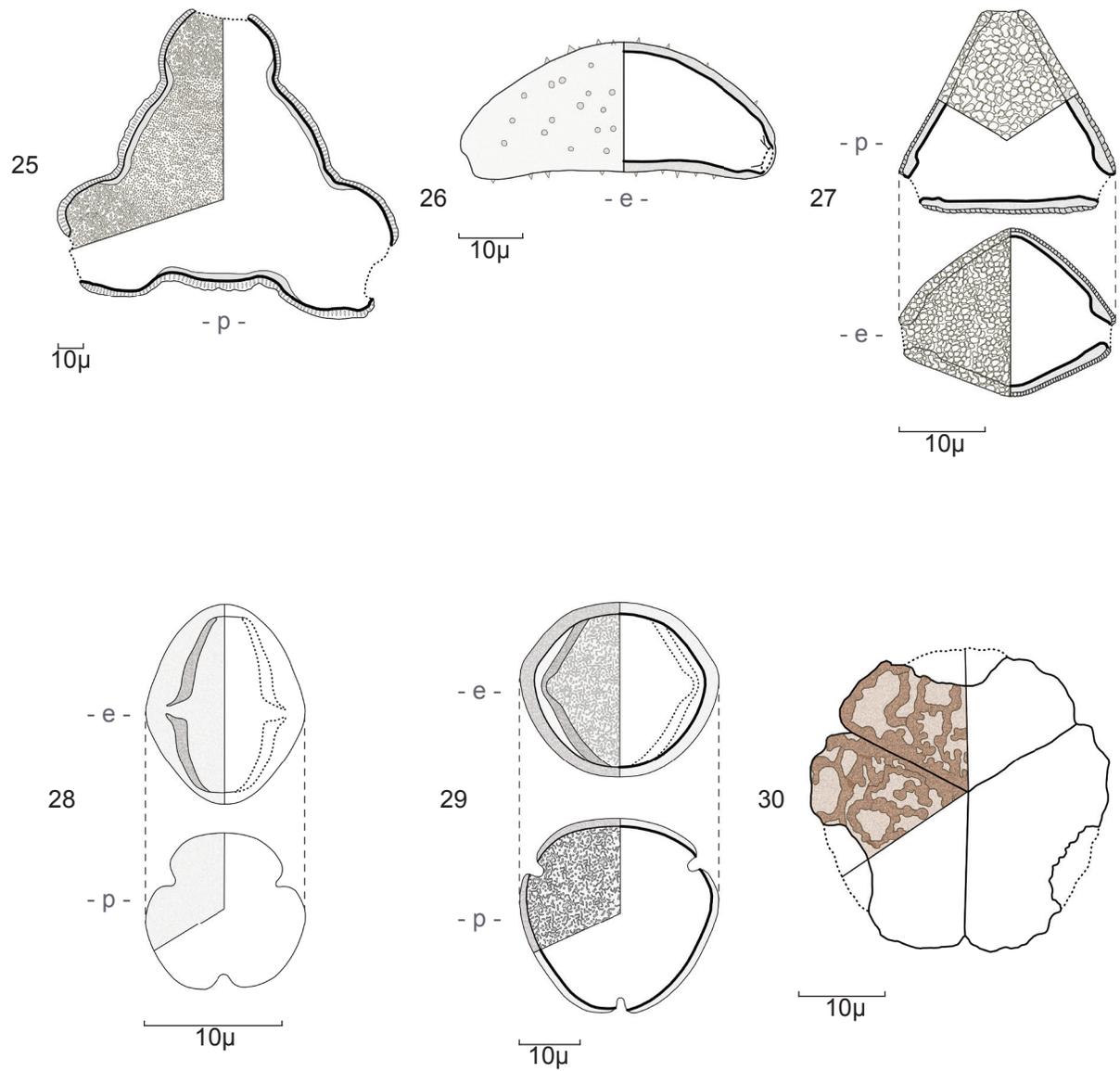


Lámina 11. Esquema de Onagraceae: *Oenothera acaulis* (25); Proteaceae: *Embothrium coccineum* (26), *Lomatia hirsuta* (27); Scrophulariaceae: *Buddleja globosa* (28); Verbenaceae: *Raphithamnus spinosus* (29); Winteraceae: *Drimys winteri* (30).

DISCUSIÓN

Las especies fotografiadas y descritas en este seminario de título ya habían sido estudiadas anteriormente dentro de los trabajos realizados en Chile (Heusser, 1971), con la excepción de *Oenothera acaulis*, especie endémica del sur de Chile cuya descripción no se encontró en ningún trabajo previo (anexo 1).

Las descripciones realizadas coinciden en la mayoría de los casos con la de los trabajos ya existentes, habiendo una importante diferencia entre los tamaños de los granos descritos en esta ocasión y los descritos por otros autores, principalmente en *Pinus radiata*, *Saxegothaea conspicua*, *Berberis darwinii* y *Fuchsia magellanica*. Un ejemplo de esto es el caso de *Saxegothaea conspicua*, descrito por Heusser (1971) como un grano de tamaño 55-74 μm de diámetro, descrito por Gomerro (1995) como un grano de 30-50 μm , y en este seminario de título como un grano de 23-38 μm . Esta discrepancia podría deberse a variaciones de tamaño del grano por causas naturales y/o en respuesta a los métodos utilizados para su observación en microscopía óptica.

Las variaciones de tamaño del grano de polen registrados en respuesta a diferentes tratamientos para su observación en microscopía óptica se ha convertido en un tema de interés, el cual ha sido ampliamente estudiado. Las variables analizadas en estos estudios, y que serían responsables de la variación de tamaño de granos de polen y esporas, son el método de preservación (Reitsma, 1969), el que puede ser a través de material seco (herbarios) o fresco (estructuras reproductivas preservadas en agua, ácido acético, etc); el tratamiento químico (Cain, 1994; Christensen, 1946; Reitsma, 1969; Meltsov y col., 2008), relacionando el aumento de tamaño de los granos de polen con el uso de KOH 10%, de acetólisis y de terbutanol; y el medio de montaje (Christensen, 1954; Reitsma, 1969; Meltsov y col., 2008), donde se concluye que la glicerina puede provocar una hinchazón anormal en los granos de polen debido probablemente a sus características higroscópicas. Cushing (1961), considera además, las características del montaje, siendo la presión que ejerce el cubreobjeto sobre los granos de polen y el tipo de sellado las variables más importantes.

CONCLUSIÓN

A partir de la caracterización de granos de polen y esporas presentes en el material palinológico de referencia del Laboratorio de Paleoecología Cuaternaria de la Universidad de Chile, es posible concluir:

1. Existen 30 especies posibles de ser encontradas en el registro sedimentario de Lago Negro: cuatro pteridófitas, tres gimnospermas y 23 angiospermas dicotiledóneas.
2. Estos granos de polen y esporas ya han sido estudiados con anterioridad en trabajos con material palinológico de origen chileno, con la excepción de *Oenothera acaulis*, especie endémica del sur de Chile.

REFERENCIAS

- BARRERA, E. & RANCUSI, M. 1975. Análisis palinológico de algunos taxa de Pteridophyta del Archipiélago de Juan Fernández. Boletín-Museo Nacional de Historia Natural. **34**: 69-80.
- CAIN, S. A. 1944. Size-frequency characteristics of *Abies fraseri* pollen as influenced by different methods of preparation. Am Midland Naturalist. **31**(1): 232-236.
- CHRISTENSEN, B.B. 1946. Measurement as a means of identifying fossil pollen. Danmarks Geologiske Undersogelse, IV. **3**(2): 1-22.
- CHRISTENSEN, B.B. 1954. New mounting media for pollen grains. Danmarks Geologiske Undersogelse, II. **80**: 7-11.
- CUSHING, E.J. 1961. Size increase in pollen grains mounted in thin slides. Pollen Spores. **3**(2): 265-274.
- FAEGRI, K. & IVERSEN, J. 1989. Textbook of pollen analysis, Cuarta Edición. pp. 352. John Wiley & Sons Ltd., London.
- GAMERRO, J.C. 1995. Morfología del polen de *Saxegothaea conspicua* (Podocarpaceae). Darwiniana. **33**(1-4): 295-300.
- HEUSSER, C.J. 1971. Pollen and spores of Chile: modern types of the Pteridophyta, Gymnospermae, Angiospermae. pp. 167. Tucson, Arizona.
- MARTICORENA, C. 1961. Morfología de los granos de polen de las Polemoniaceae chilenas. Gayana Botánica. **2**.
- MARTICORENA, C. 1962. 1.-Morfología de los granos de polen de Euphorbiceae chilenas; 2. Morfología de los granos de polen de las Malpighiaceae chilenas; 3.-Aberraciones morfológicas en granos de polen de *Tropaeolum tricolor* Sweet. Gayana Botánica. **5**.
- MARTICORENA, C. 1963. Material para una monografía de la morfología del polen de Cucurbitaceae. Grana. **4**(1): 78-91.
- MARTICORENA, C. 1968. Granos de polen de plantas chilenas: I. Gayana Botánica. **17**: 3-66.
- MARTICORENA, C., & CRISCI, J. V. 1972. Sobre *Haplopappus scrobiculatus* (Compositae) de Chile y Argentina y su sinonimia. Darwiniana. pp. 467-472.
- MELTSOV, V.; POSKA, A. & SAAR, M. 2008. Pollen size in *Carex*: The effect of different chemical treatments and mounting media. Grana. **47**(3): 220-233.

PARRA, O & MARTICORENA, C. 1972. Granos de polen de plantas chilenas: II. Compositae, Mutisieae. *Gayana Botánica*, N° 21.

REITSMA, T. 1969. Size modification of recent pollen grains under different treatments. *Review of Palaeobotany and Palynology*. **9**: 175–202.

RODRIGUEZ, R.; MARTICORENA, C.; ALARCÓN, D.; BAEZA, C.; CAVIERES, L.; FINOT, V.L.; FUENTES, N.; KIESSLING, A.; MIHOC, M.; PAUCHARD, A.; RUIZ, E.; SANCHEZ, P. & MARTICORENA, A. 2018. Catálogo de las plantas vasculares de Chile. *Gayana Botánica*. **75**(1): 1-430.

VILLAGRÁN, C. 1969. Notas palinológicas de los bosques relictuales de la zona central de Chile. I. Morfología del polen y esporas de las especies actuales del bosque higrófilo de Quintero, Provincia de Valparaíso. *Noticiario Mensual, Museo Nacional de Historia Natural*. **13**(153): 3-12.

VILLAGRÁN, C. 1980. Vegetationsgeschichtliche und pflanzensoziologische Untersuchungen im Vicente Perez Rosales National park (Chile). *Dissertationes Botanicae*. **54**:1-165.

ZULOAGA, F. & MORRONE, O. 2009. Flora del Cono Sur. Catálogo de las Plantas Vasculares. Instituto de Botánica “Darwinion”, Buenos Aires.

ANEXO

Anexo 1. Revisión bibliográfica. Estudios de morfología polínica de la vegetación de Chile

La revisión la llevé a cabo en 3 plataformas electrónicas de búsqueda: Google, Google Académico, y Web of Science. Además consulté la biblioteca del Sernageomin y el Museo Nacional de Historia Natural. La búsqueda de los trabajos la realicé a través de palabras claves: palinología, polen, esporas, polen/esporas morfología, palinoflora, y el nombre de conocidos científicos que han aportado en esta área tales como Calvin J. Heusser, Clodomiro Marticorena, Oscar Parra y Carolina Villagrán.

Los resultados indican un total de 98 trabajos relacionados con morfología polínica de plantas vasculares chilenas publicados entre los años 1942 y 2016. Aunque los primeros trabajos que ilustran los granos de polen en Chile datan de la década de los años 20 (Espinosa, 1927, 1928), éstos no se consideraron dentro de la revisión por no presentar una descripción morfológica de los palinomorfos, considerándose como el primer trabajo en esta área el realizado por María Comellas P. & Mariana Rocabado M. en 1942. Este primer trabajo corresponde a una tesis de la Universidad de Chile para optar al grado de Químico Farmacéutico, titulado: “Contribución al estudio morfológico de los granos de polen de la flora de Santiago”, donde se describen los granos de polen de 168 especies nativas e introducidas de la flora de Santiago, con la finalidad de contribuir al diagnóstico de la polinosis.

Bibliografía sobre morfología polínica chilena

A continuación, se presentan las referencias consideradas en esta revisión bibliográfica, ordenadas por año de publicación, considerando los años entre 1942-2016.

1. **Comellas, M. & Rocabado, M.** 1942. Contribución al estudio morfológico de los granos de polen de la flora de Santiago. Tesis Fac. Biología y Ciencias Médicas, Universidad de Chile. 46 pp. Santiago, Chile.
2. **Auer, V.; Salmi, M.; Salminen, K. & Goldthwait-Väänänen, H.** 1955. Pollen and spore types of Fuego-Patagonia. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae. Series A. III. Geologica-Geographica.* 43: 1-14.
3. **Ricardi, M. & Marticorena, C.** 1957. Nota preliminar sobre la morfología de los pólenes de Tropaeoláceas chilenas. *Boletín Sociedad Biología de Concepción.* 32: 17-19.
4. **Ricardi, M. & Marticorena, C.** 1957. Estudio palinológico de las Fitolacáceas chilenas. *Boletín Sociedad Biología de Concepción.* 32: 15-16.
5. **Marticorena, C.** 1961. Morfología de los granos de polen de las Polemoniaceae chilenas. *Gayana Botánica* N° 2.
6. **Marticorena, C.** 1962. 1.-Morfología de los granos de polen de Euphorbiceae chilenas; 2. Morfología de los granos de polen de las Malpighiaceae chilenas; 3.-Aberraciones morfológicas en granos de polen de *Tropaeolum tricolor* Sweet. *Gayana Botánica*, N° 5.
7. **Ricardi, M.** 1962. Notas Botánicas, 1-. El género Combera (Solanaceae). *Gayana Botánica*, N° 4.
8. **Marticorena, C.** 1963. Material para una monografía de la morfología del polen de Cucurbitaceae. *Grana.* 4(1): 78-91.
9. **Erdtman, G.** 1964. Ein Beitrag zur Kenntnis der Pollenmorphologie von *Lactoris fernandeziana* und *Drimys winteri*. *Grana Palynologica.* 5: 33-39.
10. **Torres R., F.** 1966. Estudio anatómico de *Pitavia punctata*. *Gayana Botánica*, N° 15.
11. **Heusser, C. J.** 1966. Late-Pleistocene pollen diagrams from the province of Llanquihue, southern Chile. *Proceedings of the American Philosophical Society.* 110(4): 269-305.
12. **Frutos J., J.** 1967. Palinología de los niveles carboníferos del terciario de Arauco. Tesis para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile.

13. **Marticorena, C.** 1968. Granos de polen de plantas chilenas: I. *Gayana Botánica*. 17: 3-66.
14. **Huynh, K.** 1968. Morphologie du pollen der Tropaeolacees et des Balsaminacees: I. *Grana palynologica*. 8: 88-184.
15. **Fasola, A.** 1968. Estudio palinológico de la Formación Loreto, en su lugar típico. Memoria de Título. Escuela de Geología, Universidad de Chile.
16. **Sthouff, J.B.** 1968 Palynomorphs from South America. Part 1: New late cretaceous palynomorphs from Southern South America. *Paleontological Contributions, Paper 32*.
17. **Rodríguez R., R.** 1969. Morfología de las esporas, protalos y esporofitos jóvenes de algunas especies chilenas de *Blechnum* L. (Polypodiaceae). Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología, Universidad de Concepción.
18. **Parra, O.** 1969. Estudio palinológico de las especies chilenas de la tribu Mutiseae (Compositae). Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología, Universidad de Concepción.
19. **Sthouff, J.B.** 1968 Palynomorphs from South America. Part 2: A new species of *Gothanipollis* Kruzsch from Chile. *Paleontological Contributions, Paper 32*.
20. **Villagrán M., C.** 1969. Notas palinológicas de los bosques relictuales de la zona central de Chile. I. Morfología del polen y esporas de las especies actuales del bosque higrófilo de Quintero, Provincia de Valparaíso. *Noticiario Mensual, Museo Nacional de Historia Natural*. 13(153): 3-12.
21. **Hernandez, P. & Villagrán, C.** 1969. Morfología microscópica y ultraestructura de la exina en polen de *Alnus cordata* Desf. *Noticiario Mensual del Museo nacional de historia Natural*. 161: 3-8.
22. **Fasola, A.** 1969. Estudio palinológico de la Formación Loreto (Terciario Medio), Provincia de Magallanes. *Ameghiniana*. 6: 3-49.
23. **Gleisner, G. & Ricardi, M.** 1969. Revisión del género *Argylia* (Bignoniaceae). *Gayana Botánica*, N° 19.
24. **Heusser, C. J.** 1971. Pollen and spores of Chile: modern types of the Pteridophyta, Gymnospermae, Angiospermae. pp. 167. Tucson, Arizona.
25. **Crisci, J.V.** 1971. Sobre una especie de *Leuceria* (Compositae) Chile. *Darwiniana*. 16(3-4): 627-633.
26. **Marticorena, C., & Crisci, J. V.** 1972. Sobre *Haplopappus scrobiculatus* (Compositae) de Chile y Argentina y su sinonimia. *Darwiniana*. 1: 467-472.

27. **Parra, O & Marticorena, C.** 1972. Granos de polen de plantas chilenas: II. Compositae, Mutisieae. *Gayana Botánica*.
28. **Ricardi, M. & Weldt, E.** 1974. Revisión del género *Polyachyrus* (Compositae). *Gayana Botánica*, N°26.
29. **Archangelsky, S. & Romero, E.J.** 1974. Polen de Gimnospermas (coníferas) del Cretácico Superior y Paleoceno de Patagonia. *Ameghiniana*. 11: 217-236.
30. **Palma-Heldt, S.** 1975. Estudio palinológico de las Leguminosae chilenas autóctonas, e introducidas. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología, Universidad de Concepción.
31. **Barrera, E. & Rancusi, M.** 1975. Análisis palinológico de algunos taxa de Pteridophyta del Archipiélago de Juan Fernández. *Boletín-Museo Nacional de Historia Natural*. 34: 69-80.
32. **Doubinger, J.; Chotin, P.** 1975. Étude palynologique de lignites tertiaires du bassin d'Arauco-Concepción (Chili). *Revista Española de Micropaleontología*. 7(3): 549-565.
33. **Takahashi, K.** 1977. Palynology of the lower tertiary Concepción formation, Central Chile. In *Transactions and proceedings of the Paleontological Society of Japan*. (106):71-88
34. **Takahashi, K.** 1977. Upper Cretaceous palynoflora from Quiriquina Island, Chile. *長崎大学教養部紀要. 自然科学*. 17: 29-61.
35. **Campino, I. & Bravo M., A.** 1977. Morfología y fertilidad del polen de seis progenies de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) cultivado en Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*. 4(2): 95-100.
36. **Troncoso, A.** 1977. Etude palynologique de la limite crétacé-tertiaire dans la région de Magellan, Chili Austral (Doctoral dissertation).
37. **Troncoso, A. & Barrera, E.** 1979. Esporas del Eoceno de Osorno, Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*. 24(277): 2-15.
38. **Palma-Heldt, S.** 1980. Contribución al conocimiento palinológico de los mantos carboníferos del Terciario de Arauco-Concepción, Chile. In *Actas 2º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, y 1º Congreso Latinoamericano de Paleontología*. 1: 175-189.
39. **Palma-Heldt, S.** 1980. Nuevos antecedentes en el estudio palinológico de los mantos carboníferos del terciario de Arauco-Concepción, Chile. *Boletim IG*. 11: 161-168.

40. **Villagrán, C.** 1980. Vegetationsgeschichtliche und pflanzensoziologische Untersuchungen im Vicente Pérez Rosales Nationalpark (Chile). *Dissertationes Botanicae* 54. Cramer, Vaduz.
41. **Rojas V., G.** 1981. Contribución a la palinología de las fanerógamas del Archipiélago de Juan Fernández. Unidad de Investigación para Optar al Grado de Licenciatura en Biología, Universidad de Concepción.
42. **Morales O., H.** 1981. Contribución a la palinología de la subtribu Cochnatiinae de las Compositae-Mutisieae y su valor taxonómico. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología, Universidad de Concepción.
43. **Finot, V.L.** 1981. Contribución al conocimiento palinológico de la familia Nolanaceae. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología, Universidad de Concepción.
44. **Feuer, S.** 1981. Pollen morphology and relationships of the Misodendraceae (Santalales). *Nordic Journal of Botany*. 1: 731-734.
45. **Baldoni, A.M. & Archangelsky, S.** 1983. Palinología de la Formación Springhill (Cretácico Inferior), subsuelo de Argentina y Chile Austral. *Revista Española de Micropaleontología*. 15: 47-101.
46. **Finot, V.L.** 1983. Morfología del polen de las familias Nolanaceae y Solanaceae. Presentado en Reunión de la Sociedad de Biología de Concepción, Concepción.
47. **Martcorena, C. & Finot, V.L.** 1983. Estructura de la exina en Compositae-Mutisieae. Proyecto DIUC 20.32.02. Sociedad de Biología de Chile sección Botánica, Punta de Talca.
48. **Torres, T.; Rallo, M. & Gonzalez, I.** 1983. Contribución al estudio de la paleoflora de la IV Región, Chile. *Terra Aridae*. 2 (2): 457-477.
49. **Baldoni, A.M. & Taylor, T.N.** 1984. Megasporas cretácicas de la Formación Springhill en el subsuelo de Argentina y Chile austral. *Ameghiniana*. 21 (2-4):151-167.
50. **Finot, V.L.** 1984. Morfología del polen y superficie estigmática en angiospermas dicotiledóneas. Proyecto Universidad de Concepción. 84-227.
51. **Zavada, M.S. & Taylor, T.N.** 1986. Pollen morphology of Lactoridaceae. *Plant Systematics and Evolution*. 154: 31-39.
52. **Crisci, J.V. & Freire, S.E.** 1986. El género *Calopappus* (Compositae, Mutisieae). *Caldasia*. 15(71-75): 57-69.
53. **Rodríguez, R. & Martcorena, C.** 1987. Las especies del género *Luzuriaga* R. ET P. *Gayana Botánica*. 44 (1-4).

54. **Gomez, M.; Schuck, M.; Mujica, A.M. & Montenegro, G.** 1988. Morfología de los granos de polen de especies utilizadas por *Apis mellifera* (abeja melífera). IV Congreso de Estudiantes de Morfología. Facultad de Medicina, Depto. de Morfología Experimental, Universidad de Chile. Santiago.
55. **Rosas, M.** 1989. El género *Atriplex* (Chenopodiaceae) en Chile. *Gayana Botánica*. 46(1-2): 3-82.
56. **Médus, J.; Gajardo, R. & Woltz, P.** 1989. Exine ultrastructure of *Dacrydium fonkii*, *Saxegothaea conspicua* and *Stachycarpus andina* (Podocarpaceae) from southern South America. *Grana*. 28(1): 19-23.
57. **Sampson, F.B. & Foreman, D.B.** 1990. Pollen morphology of *Peumus boldus* (Monimieaceae)- a comparison with *Paheria scandens*. *Grana*. 29: 197-206.
58. **Finot, V.L.** 1991. Estudios palinológicos en Solanáceas. 42º Congreso Agronómico. Sociedad Agronómica de Chile. Chillán.
59. **Torres, T. & Méon, H.** 1993. Lophosoria del terciario de isla Rey Jorge y Chile Central: Origen y dispersión en el hemisferio Sur. *Ser. Cient. INACH*. 43: 17-30.
60. **Rojas, G. & Meza, I.** 1994. Polen alergénico de ciudades con clima mediterráneo en Chile. Fondos de Apoyo a la Investigación 1994.
61. **Gamerro, J.C.** 1995. Morfología del polen de *Saxegothaea conspicua* (Podocarpaceae). *Darwiniana*. 33(1-4): 295-300.
62. **Sampson, F.B.** 1995. Pollen morphology of Lactoridaceae – a re-examination. *Grana*. 34:100-107.
63. **Zhou, M. & Heusser, C.J.** 1996. Late-glacial palynology of the Myrtaceae of southern Chile. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 91(1): 283-315.
64. **Baez, P.** 1998. Análisis fisiológico y morfológico de los granos de polen en cuatro especies del género *Nothofagus* (Doctoral dissertation, Tesis Licenciatura en Ciencias Biológicas. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias).
65. **Hebel, I. & Rojas, R.** 2000. Pollen morphology of the species of the family Proteaceae from Chile *Boletín Museo de Historia Natural*. 49(00): 51-72.
66. **Barrera, E. & Rojas, G.** 2002. Características microscópicas de epidermis foliar y polen de plantas medicinales. Fondos de Apoyo a la Investigación 2002.
67. **Tellería, M.C. & Danners, G.** 2003. Pollen types in Southern New World Convulvaceae and their taxonomic significance. *Plant Systematics and Evolution*. 243: 99-118.

68. **Zavattieri, A. M.; Herbst, R. & Muñoz B., J.** 2003. Microflora de la Formación Panguipulli (Triásico Superior), en Lican Ray, Lago Calafquén, 10° Región, Chile. *Ameghiniana*. 40(4): 585-600.
69. **Carvalho, G. & Ginocchio, R.** 2004. Variabilidad en rasgos polínicos en el complejo *Mimulus Luteus* L. (Phrymaceae) en Chile central. *Gayana Botánica*. 61(2): 63-66.
70. **Castro, M.T.** 2005. Análisis palinológico comparado de las Athyriaceae (Pteridophyta) del Cono Sur de América Meridional. Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad de la Plata, República de Argentina.
71. **Barrios A., L.; Creucí, M. & Cardoso, C.I.** 2006. Caracterización del polen de especies de los géneros *Passiflora* y *Dikea*. *Acta Agronómica*. 54(3): 19-23.
72. **Macluf, C.C.; Morbelli, M.A. & Giudice, G.E.** 2006. Microspore morphology of *Isoetes* species (Lycophyta) from Southern South America. *The Botanical Review*. 72(2): 121-134.
73. **Palazzesi, L.; Pujana, R.R.; Burrieza, H.P. & Penas-Steinhardt, A.** 2007. Pollen grain morphology of selected allergenic species native to Southern South America. *The Journal of the Torrey Botanical Society*. 134(4): 527-533.
74. **Rolleri, C.H.; Prada, C. & Passarelli, L.** 2008. Estudios morfológicos y taxonómicos en *Blechnum* (Blechnaceae-Pteridophyta): *B. tabulare* y *B. magellanicum*. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 65(2): 179-195.
75. **Parada, C.; Rolleri, C.H. & Passarelli, L.** 2008. Morfología, caracterización y distribución geográfica de *Blechnum cordatum* (Blechnaceae-Pteridophyta). *Acta Botánica Malacitana*. 33: 29-46.
76. **Gardenal, P. & Morbelli, M.A.** 2008. Spore morphology and ultrastructure in species of *Salvinia* from southern South America. *Palynology*. 32: 143-156.
77. **Arriagada S., V.H.** 2008. Morfología del polen de la flora melífera en el espinal de *Acacia caven*, comuna de San Nicolás, Provincia de Ñuble, Región del Biobío, Chile. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Concepción.
78. **Hebel, I. & Torres, T.** 2009. Polen fósil de Isla Rey Jorge (Antártica) y Chile continental, afín a Proteaceae chilenas. *Anales del Instituto de la Patagonia*. 37(1): 7-22.
79. **Gardenal, P.** 2009. Morfología y ultraestructura de las esporas de Filicophyta heterosporadas presentes en el Cono Sur de América Meridional. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata, Argentina.

80. **Cranwell, L.M. & Srivastava S.K.** 2009. An early cretaceous (Hauterivian) spore-pollen assemblage from southern Chile. *Palynology*. 33(1): 241-280.
81. **Viruel, J.; Segarra-Moragues, J. G.; Pérez-Collazos, E.; Villar, L. & Catalán, P.** 2010. Systematic revision of the *Epipetrum* group of *Dioscorea* (Dioscoreaceae) endemic to Chile. *Systematic Botany*. 35(1): 40-63.
82. **Palma-Heldt, S.** 2010. Estudio palinológico del terciario sedimentario de Lonquimay, Provincia de Malleco, Chile. *Andean Geology*, (18).
83. **Sarwar, A. K. M. G., Hoshino, Y., & Araki, H.** 2010. Pollen morphology and infrageneric classification of *Alstroemeria* L.(Alstroemeriaceae). *Grana*. 49(4): 227-242.
84. **Arredondo-Núñez, A.X.** 2010. Guía de polen: Reserva Nacional Los RUILLES. Proyecto Anillo ACT34/2006. 69 pp, Impreso 2010. Alvimpress Impresores Ltda.
85. **Salgado, O.** 2010. Guía de reconocimiento de polen para Enseñanza Media. Tesis para optar al título de Profesor de Biología y Ciencias Naturales, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.
86. **Macluf, C.C.** 2011. Análisis morfológico, palinológico y sistemático de las Isoetales del Cono Sur de América del Sur. Facultad de Ciencias Naturales y Museo Universidad Nacional de la Plata.
87. **Márquez, G.J.** 2012. Palinología de los helechos arborescentes (Cyatheaceae) del Cono Sur: Morfología y ultraestructura de las esporas de las Cyatheaceae del Cono Sur de América (Spanish Edition) Editorial Academia Española.
88. **Collao, A.K.; Maldonado, A.; Gonzáles, L.; Sandoval, A.; Porras, M.; Zamora, A. & Arancio, G.** 2015. Estudio de la relación polen-vegetación actual en el Norte de Chile, en el transecto Pozo Almonte-Salar de Huasco (20°15'S/69°06'O). *Gayana Botánica*. 72(1): 125-136.
89. **Miesen, F.; Eugenia de Porras, M. & Maldonado, A.** 2015. Pollen morphology of Cactaceae in Northern Chile. *Gayana Botánica*. 72(2): 258-271.
90. **García, L.; Rivero, M. & Droppelmann F.** 2015. Descripción morfológica y viabilidad del polen de *Nothofagus nervosa* (Nothofagaceae). *Bosque*. 36(3): 487-496.
91. **Ramos-Giacosa, J.P.; Morbelli, M.A. & Giudice, G.E.** 2015. Morphology and ultrastructure of *Schizaea fistulosa* (Schizaeaceae) spores from Chile. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 50 (1): 17-22.

92. **Collao, A.K.; Planella, M. & Niemeyer, M.H.** 2016. El polen de especies del género *Nicotiana* (Solanaceae) presentes en Chile: Evaluación de la utilidad de sus caracteres morfológicos como biomarcadores en estudios arqueológicos. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 51(1): 135-152.
93. **Rojas-Villegas, G.** 2016. Palinología de especies de Asteraceae del Archipiélago de Juan Fernández. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural*. 65: 265-277.
94. **Zamaloa, M.C. & Fernández, C.A.** 2016. Pollen morphology and fossil record of the feathery mistletoe family Misodendraceae. *Grana*. 55(4): 278-285.
95. **Meza-Torres, E.I.; Stensvold, M.C; Farrar, D.R. & Ferrucci, M.S.** 2016. Circumscription of the South American moonwort *Botrychium* (Ophioglossaceae). *Plant Biosystems-An international Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*.
96. **García, M.E.; Reyes, N.J.F. & Vargas, P.N.** 2016. Contribución al estudio polínico de la flora de la cuenca Laguna Avendaño (Ñuble, Chile). *Lilloa*. 53(1): 55-73.
97. **Haberle, S.** Chilean pollen Reference collection, Palaeoworks. Pollen and spores of Southern Chile and the Juan Fernández Archipiélago Research School of Pacific and Asian Studies Australian National University.
98. **Arriagada, V.H.** Atlas polínico y de la flora melífera de la comuna de San Nicolás, VIII Región, Chile. Tesis: Agronomía Universidad de Concepción.