

VCH. FC
Biol. Pub.
S 558
C. 1

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

HISTORIA DE REGIMEN DE FUEGO Y VEGETACIÓN EN LAGUNA CHURRASCO
(45°41'S, 71°49'W), REGIÓN DE AYSÉN, DURANTE LOS ÚLTIMOS ~2000 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



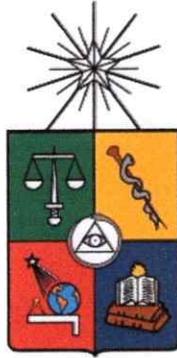
por

Enzo Ignacio Simi López

Noviembre, 2012

Santiago – Chile

Director de seminario de título: Dr. Patricio Moreno Moncada



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 el Sr. **Enzo Ignacio Simi López**

“HISTORIA DE REGIMEN DE FUEGO Y VEGETACIÓN EN LAGUNA CHURRASCO (45°41’S, 71°49’W), REGIÓN DE AYSÉN, DURANTE LOS ÚLTIMOS ~2000 AÑOS”

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

Dr. Patricio Moreno
Director Seminario de Título

Firma manuscrita en tinta negra del Dr. Patricio Moreno, sobre una línea horizontal.

Comisión de Evaluación

Dr. Ramiro Bustamante
Presidente Comisión

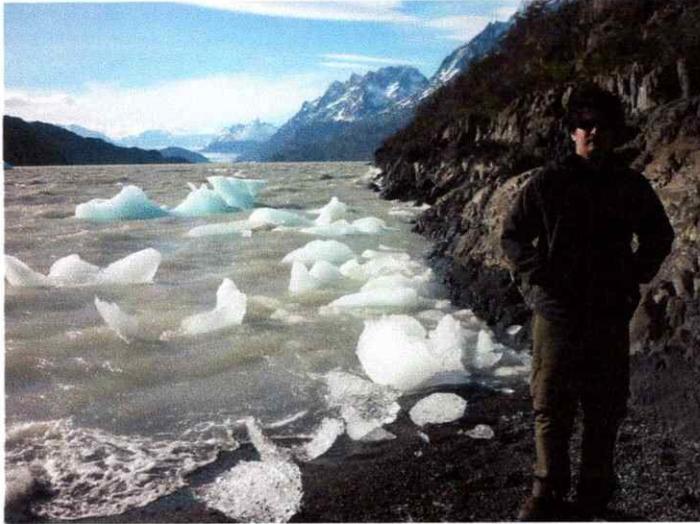
Firma manuscrita en tinta azul del Dr. Ramiro Bustamante, sobre una línea horizontal.

Dr. Felipe Hinojosa
Evaluador

Firma manuscrita en tinta azul del Dr. Felipe Hinojosa, sobre una línea horizontal.

Santiago,

BIOGRAFÍA



Enzo nació el 26 de Julio de 1988 en Santiago, Chile. Toda su vida se ha interesado por las Ciencias Naturales y el Medioambiente, interés que aumentó durante su paso por el grupo de scouts "GAVIN", del Instituto Nacional José Miguel

Carrera, en dicha casa de estudios realizó sus estudios de enseñanza media y optó por un área de estudio basada en Biología y áreas afines.

En el año 2007 entró a la carrera de Biología con mención en Medio Ambiente, en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, con el objetivo de ampliar sus conocimientos en su área de interés. Fue así como en el año 2008 realizó su primer acercamiento al trabajo científico, en el Laboratorio de Palinología, a cargo del Dr. Patricio Moreno, desde aquél momento ha estado investigando en el área de Paleoecología, donde enfoca su esfuerzo y dedicación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Páginas
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general y objetivos específicos.....	6
1.2 Hipótesis.....	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
2.1 Área de estudio.....	8
2.2 Obtención de muestras.....	13
2.3 Análisis de muestras.....	13
2.4 Datación por plomo.....	15
3. RESULTADOS.....	16
3.1 Estratigrafía y Cronología.....	16
3.2 Registro de Polen.....	18
3.3 Registro de Carbón.....	20
4. DISCUSIÓN.....	25
4.1 Vegetación y Clima.....	25
4.2 Régimen de fuego.....	28
4.3 Perturbación chileno-europea.....	28
4.4 Implicancias regionales.....	30
5. CONCLUSIONES.....	32
6. BIBLIOGRAFÍA.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
• Figura 1: Mapa del área de estudio.....	12
• Figura 2: Diagrama de concentraciones de carbón y PPI.....	16
• Figura 3: Diagrama de polen de taxa terrestres y acuáticas.....	22-23
• Figura 4: Tasas de acumulación de taxa terrestres y carbón....	24

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
• Tabla 1: Tabla resumen de dataciones ^{210}Pb	17

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Patricio Moreno y al Dr. Rodrigo Villa-Martínez por su apoyo, consejos y enseñanzas en el ámbito teórico y práctico de esta investigación. A todos y cada uno de los integrantes del Laboratorio de Palinología, por su ayuda en el procesamiento e identificación de polen, análisis de datos, consejos, etc., y un agradecimiento aún mayor a Carmen por elaborar el mapa de la zona de estudio.

A mi familia y amigos por hacer más llevadero el desarrollo de esta investigación, ya sea alentándome o soportando mis quejas.

Al proyecto Fondecyt n°1110612, por financiar esta actividad.

RESUMEN

El análisis estratigráfico de polen, esporas y partículas de carbón encontradas en los sedimentos lacustres de Laguna Churrasco (45°41'S, 71°49'W, 798 msnm), región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, nos permitieron desarrollar la historia vegetacional y de fuego local, abarcando los últimos ~2000 años. Es posible apreciar que dicha historia ha estado dominada por bosque de *Nothofagus*, con reducido aporte de otros taxa vegetales, de manera casi imperturbable, salvo durante los últimos 90 años (años 1921-2011 DC). En este intervalo se aprecia descenso de la abundancia de *Nothofagus* tipo *dombeyi*, a la par con incrementos de Poaceae, Asteraceae, *Misodendron* y los taxa exóticos *Rumex*, *Plantago* y *Pinus* sp. Los valores de carbón microscópico y macroscópico muestran concentraciones bajas a lo largo del registro, exceptuando un incremento abrupto durante los últimos 90 años, con máximos discretos en los años 1939 y 2003 DC en ambas fracciones de tamaño. Es evidente un aumento de los taxa acuáticos Cyperaceae, *Isoetes savatieri*, *Myriophyllum*, *Potamogeton* y el descenso de la microalga *Pediastrum* desde el centímetro 59, lo cual sugiere una tendencia hacia la reducción areal de Laguna Churrasco a raíz de disminución de su nivel lacustre.

Identificamos perturbación antrópica de la vegetación durante los últimos 90 años producto de las quemas realizadas para despejar terrenos para hábitat, agricultura o ganadería. La magnitud y rapidez de éstos excede el rango de variabilidad natural observada durante los últimos ~2000 años en el registro fósil de Laguna Churrasco, órdenes de magnitud por sobre incendios naturales y depositación de cenizas asociada a volcanismo reciente.

ABSTRACT

Here I present stratigraphic analyses of pollen, spores and charcoal particles from a sediment core retrieved from Laguna Churrascope ($45^{\circ}41'S$, $71^{\circ}49'W$, 798 msnm) to develop vegetation and local fire histories spanning the last ~ 2000 years in a sector from región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, that the record shows the virtually uninterrupted dominance of *Nothofagus* forests until 90 years ago (1921 AD). Since then *Nothofagus* declines, along with increases in *Poaceae*, *Asteraceae*, *Misodendron* and the exotic taxa *Rumex*, *Plantago* and *Pinus* sp. The abundance of microscopic and macroscopic charcoal remains low throughout the record, except for a sharp increase 90 years long, with discrete peaks in the years 1939 and 2003 AD in both size fractions. We note an increase in aquatic *Cyperaceae*, *Isoetes savatieri*, *Myriophyllum*, *Potamogeton* and a decline in *Pediastrum* from 59 cm, suggesting a lake regressive phase until present.

We identify human disturbance over the last 90 years by means of fires to clear land for housing, farming or ranching. The magnitude and rapidity of this environmental transformation exceeds the range of natural variability observed over the last ~ 2000 years in the fossil record of Lake Churrascope, orders of magnitude over natural fires and ash deposition associated with recent volcanic events.

INTRODUCCIÓN

Conocer la historia de un ecosistema es básico para entender las circunstancias y contingencias históricas involucradas en la estructuración y mantención de su biodiversidad a través del tiempo. Gran parte de los ecólogos generalmente estudian organismos o sistemas a una escala de tiempo menor de 10 años y a menudo están limitados por la duración de un experimento, temporalidad o recursos (Foster y col. 1990). La paleoecología permite estudiar la historia de los ecosistemas a través de múltiples escalas temporales mediante registros sedimentarios de variadas fuentes, aportando una perspectiva histórica sobre los patrones, causas, magnitudes y tasas de cambios ecológicos atribuibles a variaciones de naturaleza climática y por actividad antrópica (Willard & Cronin 2007); entre otros. Una herramienta importante es el estudio de variaciones en la composición y abundancia de granos de polen fósil preservados en secuencias sedimentarias (palinología), aproximación que permite inferir variaciones en la vegetación pasada, interpretable a la luz de respuestas a procesos endógenos o gatillados por cambio ambiental pasado. Las cuencas lacustres son sitios ideales para estudiar los cambios paleoambientales, ya que los sedimentos depositados en sus fondos registran las características del lago y sus alrededores, donde cada capa de sedimento que se deposita en el fondo del lago es una imagen de los eventos climático-geomorfológicos de la época y es mediante la extracción y análisis de estos sedimentos lacustres que podemos acceder a este registro de cambios ambientales.

Procesos críticos en las comunidades biológicas tales como expansiones, migraciones o extinciones, ocurren en respuesta a cambios climáticos, generando

estructuras o comunidades distintas a las previamente observadas a lo largo del tiempo geológico (Young y col. 2007). Las glaciaciones del Cuaternario poseen una duración promedio de 120.000 años y se alternan con interglaciales, con duración típica de ~14.000 años (Broecker & Denton 1989). En este contexto se han detectado transiciones climáticas abruptas, que se desarrollan en algunas pocas decenas de años, e incluso a nivel interanual (Steffen y col. 2008). Dentro de los cambios climáticos ocurridos durante el último milenio es pertinente mencionar los eventos de "la pequeña edad de hielo" (LIA por sus siglas en inglés), que transcurrió entre ~650-50 años cal AP y "el periodo cálido medieval" (MWP por sus siglas en inglés) entre ~1150-650 años cal AP. Dichos eventos fueron registrados inicialmente en el hemisferio norte (Soon y col 2003), mientras que aun no se llega a consenso total de su ocurrencia en el hemisferio sur. Moy y col. (2009) sintetizaron lo ocurrido durante el tiempo de LIA y MWP en Patagonia, a partir del análisis de múltiples indicadores paleoambientales (sedimentos lacustres, registros de: polen, carbón, anillos de crecimiento de árboles, fluctuaciones glaciales y temperatura, salinidad y productividad superficial marina, así como precipitaciones). Sus conclusiones fueron que durante los últimos ~2000 años ha habido un descenso de las temperaturas hasta el intervalo de 450-50 años cal AP (correspondiéndose con la LIA europea), observándose un periodo de aumento en las temperaturas hace 900-700 años cal AP ("anomalía climática medieval" –MCA-, según Stine (1994)) y especialmente durante los últimos 350 años.

Una perturbación importante que experimentan muchos ecosistemas es producida por el fuego, a escala regional y local juega un papel importante como acelerador de cambios vegetacionales al alterar la composición de las especies presentes (Whitlock & Bartlein 2004) y a escalas aun mayores es capaz de afectar el

ciclo global del Carbono, la química atmosférica y modificar la biodiversidad de los ecosistemas terrestres (Cofer y col. 1997, Power y col. 2008, van der Werf y col. 2004). Los regímenes de fuego = definidos como la frecuencia, temporalidad, intensidad, extensión y tipo de fuego (Power y col. 2008)- históricamente fueron modelados principalmente por controles naturales (tormentas eléctricas, recurrencia de sequías, acumulación de biomasa), pero los recientes asentamientos humanos han producido un aumento de las intensidades y frecuencias de incendios debido a los despejes de zonas boscosas mediante quema (Szeicz y col. 1998, Veblen & Markgraf 1988, Veblen y col. 1996). El fuego ha sido identificado como un importante catalizador de cambios vegetacionales durante cambios climáticos rápidos en el pasado (Swetnam & Betancourt 1998, Whitlock & Bartlein 2004) y se ha postulado como el agente principal de cambio en los ecosistemas en el futuro (Watson y col. 2000, Whitlock & Bartlein 2004).

Las reconstrucciones históricas de fuego provienen principalmente de tres fuentes, la primera atribuida a registros históricos que documentan la ocurrencia, extensión y duración de fuegos, y otras dos fuentes interpretativas: (i) cicatrices de fuegos marcadas en los anillos de crecimiento de los árboles que proveen información típicamente de los últimos 400 años o menos, pero con una alta resolución espacio-temporal; y (ii) la presencia de partículas de carbón preservadas en sedimentos lacustres, las cuales proveen información de mayor escala temporal, pero con una menor resolución espacio-temporal (Whitlock y col. 2003). Las partículas macroscópicas ($\geq 100 \mu\text{m}$) de ambos componentes tienen un pequeño radio de dispersión, por lo tanto, valores por sobre la base son atribuibles a eventos locales de fuego (Whitlock & Bartlein 2004).

Asentamientos chileno-europeos en la región de Aysén comenzaron a principios del siglo XIX en la costa (Archipiélago de los Chonos y Península Taitao) y a inicios del siglo XX hacia zonas más céntricas de la región (Puerto Aysén), ya sea por migración de los habitantes de la costa hacia el este o migración de habitantes desde la vertiente argentina hacia el oeste, siendo la Región de Aysén una de las últimas regiones de Chile en colonizarse (Butland 1957, Szeicz y col. 1998). Esta colonización produjo grandes cambios en los ecosistemas terrestres producto de las quemas de bosque para la construcción de ciudades, ganadería, agricultura y la explotación forestal, siendo ésta última una importante actividad económica de la región en la actualidad. Registros arqueológicos indican que esta región estuvo habitada por los Chonos en el sector costero al oeste de Puerto Aysén hace al menos 6000 años y se cree que su población no superaba los 1000 individuos (Butland 1957, Ortega & Brünning 2004). Una de las mayores perturbaciones ecológicas documentadas ocurrió entre los años 1930 y 1950 DC donde más del 50% de las áreas de bosque de Aysén se quemaron para generar más espacios habitables o para plantaciones de especies arbóreas exóticas de rápido crecimiento como pino insignie (*Pinus radiata*) y pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) por parte de los colonos (Armesto y col. 2010, Otero 2006, Veblen y col. 1996).

El presente seminario de título se centra en el análisis estratigráfico de un registro de sedimento lacustre extraído de Laguna Churrasco (45°41'S, 71°49'W, 798 msnm), un pequeño lago de cuenca cerrada ubicado en la región de Aysén. A través de esta aproximación se busca documentar la historia de la vegetación y regímenes de fuego en la zona de estudio y evaluarla a la luz de eventos de perturbación natural

como erupciones volcánicas, incendios naturales y eventos de origen antrópico asociadas a actividades históricas.

Objetivo General

El objetivo general de esta investigación consiste en documentar la historia de la vegetación y ocurrencia de fuego a partir de sedimentos lacustres obtenidos de Laguna Churrasco, Región de Aysén, durante los últimos ~2000 años.

Objetivos específicos:

- Desarrollar estratigrafías de alta resolución temporal de polen, partículas de carbón micro y macroscópico y parámetros de pérdida por ignición. Estos análisis se realizaron a partir de muestras contiguas de 1 cm de espesor provenientes de un testigo de interfase agua-sedimento que obtuvimos durante el año 2011 a partir del sector más profundo de Laguna Churrasco.
- Detectar estratigráficamente el comienzo y desarrollo de la perturbación antrópica de gran escala durante tiempos históricos en los ecosistemas circundantes al lago.
- Contextualizar los cambios inducidos por actividad antrópica durante el siglo XX en el marco de los últimos ~2000 años y detectar si la magnitud, tipo y rapidez de éstos difiere respecto a variaciones naturales.

Hipótesis

H1. Si eventos pasados de fuego constituyeron una fuente de perturbación sobre la vegetación en la zona aledaña a Laguna Churrasco, se espera que la concentración de carbón tanto macro como microscópico covaríen con transiciones entre ensambles polínicos dominados por taxa arbóreos y ensambles fuertemente representados por hierbas/arbustos propias de hábitats pastizales o ambientes de margen de bosque.

H2: Si la actual configuración de las comunidades vegetales en torno a Laguna Churrasco se debe a perturbaciones de origen euro-chileno, entonces esperamos que el actual ensamble polínico se estableció en torno al año ~1900 DC, y que éste contenga especies vegetales exóticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo (44–48°S) se ubica en el sector austral de Chile y posee un paisaje modelado por erosión y depositación glacial asociados a repetidos ciclos glaciales, con numerosos fiordos, islas y valles profundos, además posee sectores montañosos de hasta 3000 m de altitud, como es el caso del volcán Macá (45°5'S, 73°10'W). Vastas áreas de esta región fueron cubiertas por glaciares durante la última glaciación y posteriormente múltiples zonas quedaron descubiertas cuando comenzó la deglaciación hace unos 17.000-16.000 años atrás (Hein y col. 2010, Mardones y col. 2011, Sugden y col. 2005, Villa-Martínez y col. 2012).

La región de Aysén es tectónicamente activa debido a la subducción de las placas de Nazca y Antártica bajo la placa Sudamericana (Sepúlveda & Serey 2009); habiéndose registrado múltiples terremotos en tiempos históricos (Forsythe & Nelson 1985). También es activa volcánicamente, siendo de importancia los niveles piroclásticos preservados en secuencias sedimentarias para determinar peligrosidad volcánica y entender la recurrencia de eventos eruptivos en el pasado, de gran utilidad para estudios estratigráficos en esta zona, debido a que deja un registro cronoestratigráfico que permite correlacionar sitios y descifrar la evolución paleoambiental de la zona (Naranjo & Stern 1998, Watt y col. 2011).

El sur de Chile (así como también las latitudes medias del hemisferio sur) está bajo influencia constante de los “vientos del oeste del hemisferio sur”; como su nombre lo indica, son vientos que se mueven de oeste a este en latitudes medias de la Tierra, entre zonas de altas presiones tropicales y bajas presiones polares (Toggweiler 2009). Estos vientos son un componente importante del sistema climático hemisférico puesto que influyen en la circulación atmosférica y precipitaciones de las latitudes medias del hemisferio sur, así como también en las corrientes oceánicas profundas y en el traspaso gaseoso entre el océano y atmósfera (Toggweiler 2009, Villa-Martínez y col. 2012). En el océano Pacífico sureste y en zonas de los Andes de Patagonia centro (44-49°S), los SWW corresponden a la única fuente de precipitaciones (Miller 1976).

En la Región de Aysén se pueden identificar cuatro tipos climáticos: a) en la zona insular y costera de la región se observa un clima muy lluvioso (4200 mm/año en San Pedro, 47°43'S; 74°55'W) con temperaturas anuales promedio de 8°C; b) inmediatamente hacia el oriente se encuentra una zona con menor precipitación, temperaturas anuales promedio de 9°C, abundantes nevadas en invierno y fuertes vientos; c) un tercer tipo climático se observa hacia el límite internacional Chile-Argentina, caracterizado por aún menores precipitaciones (800 mm/año en Cochrane, 47°15'S; 72°34'W), temperaturas anuales promedio menores a 6°C con intensas y constantes nevadas; d) hielos eternos de altura, ubicados en macizos cordilleranos con altitudes superiores a 800 msnm, con fuertes vientos, nevazones y temperaturas anuales que no superan los 0°C (Ortega & Brünning 2004, Veblen 2007, Villa-Martínez y col. 2012).

Producto de sistemas frontales originados por los SWW y la acción orográfica de la Cordillera de los Andes y de la Costa, se desarrolla un pronunciado gradiente de precipitaciones oeste-este a lo largo de la región de Aysén (como se mencionó en los tipos climáticos anteriores), siendo la zona costera hiperhúmeda y con poca estacionalidad, mientras que hacia la zona limítrofe entre Chile y Argentina se presenta un clima bastante más seco, con continentalidad y estacionalidad más desarrolladas (Ortega & Brünning 2004, Szeicz y col. 1998, Veblen 2007, Villa-Martínez y col. 2012). Este gradiente induce que la vertiente pacífica de la región esté dominada por el Bosque lluvioso Norpatagónico, siendo representado por *Nothofagus betuloides*, *Weinmannia trichosperma*, *Drimys winteri*, *Caldcluvia paniculata*, *Pseudopanax laetevirens*, *Hydrangea serratifolia*, *Amomyrtus luma*, *Podocarpus nubigena*, *Pilgerodendron uviferum* y *Saxegothaea conspicua*, mientras que en la vertiente oriental se presenta el Bosque decíduo Subantártico, donde podemos observar *Nothofagus pumilio* y *N. antarctica*. Hacia la frontera con Argentina se observa un ecotono bosque-estepa, a unos 4 km al este de Laguna Churrascho, producto del efecto de "sombra de lluvia" (Garreaud 2007), el cual constituye un límite vegetacional y climático sensible entre ambientes húmedos y semi-áridos al este de los Andes patagónicos. También es posible observar vegetación de estepa dominada por especies de la familia Poaceae (*Festuca pallescens* y *F. gracillima*), arbustos (*Mulinum spinosum* y *Senecio filaginoides*) e hierbas (*Acaena splendens*) (Paruelo y col. 2007, Villa-Martínez y col. 2012).

Varios autores (Schmithusen 1956, Veblen 2007, Villa-Martínez y col. 2012) han descrito una zonación altitudinal de la vegetación, que incluye: (i) Bosque lluvioso Norpatagónico desde nivel del mar hasta los ~800 msnm, dominado por las especies

siempreverdes *Nothofagus dombeyi*, *N. nitida* y *N. betuloides*, aunque también se pueden encontrar las especies deciduas *N. pumilio* en zonas subalpinas y *N. antarctica* en zonas con mal drenaje. (ii) Bosque deciduo Subantártico desde ~800 a ~1000 msnm dominado principalmente por *N. pumilio*, aunque puede asociarse en ocasiones con *N. betuloides*. (iii) Vegetación Altoandina por sobre el límite arbóreo a los ~1000 msnm, constituida por hierbas de las familias Poaceae (géneros *Poa*, *Festuca*, *Deschampsia*), Asteraceae (géneros *Nassauvia*, *Senecio*, *Perezia*), Apiaceae (géneros *Bolax*, *Azorella*), Cyperaceae (género *Carex*) y Gunneraceae (género *Gunnera*), así como matorrales de especies pertenecientes a la familia Ericaceae (género *Gaultheria*) y Empetraceae (género *Empetrum*). En algunos casos se pueden ver individuos aislados de *Nothofagus antarctica*.

Laguna Churrasco (45°41'S, 71°49'W) está ubicado en la Región de Aysén, 24 km al Sureste de la ciudad de Coyhaique y a una altitud de 798 msnm (Figura 1). En un lago con forma arriñonada, con orientación Noreste-Suroeste, posee un largo de 560 m, un ancho mínimo de 130 m y un ancho máximo de 260 m. El sector más profundo tiene entre 4,5 y 5,4 m de columna de agua, está rodeado por un relieve controlado por roca madre y no se observan niveles lacustres definidos sobre el nivel actual. En el perímetro del lago se observa un anillo interior con abundante *Potamogeton*, *Myriophyllum* y Cyperaceae, y está rodeado por un bosque abierto compuesto principalmente por Lengua (*Nothofagus pumilio*) y algunos Ñirres (*Nothofagus antarctica*) con abundante presencia del líquen "barba de viejo" (*Usnea sp.*) sobre ellos. En el sotobosque se encontró *Blechnum pennamarina*, Caryophyllaceae, *Viola reichei*, *Osmorhiza chilensis*, Compositae, *Silene sp.*, *Berberis serratodentata*, *Acaena pinnatifida*, *Acaena pinnatifolia*, *Ribes sp.*, *Calceolaria sp.*, *Geranium sp.*, *Chilliotrichum*

diffusum, *Rumex sp.*, *Berberis microphylla*, *Trifolium repens*, *Phacelia secunda* y *Fragaria chiloensis*. Además se puede observar evidencia de corte de bosque secundario y fuego.

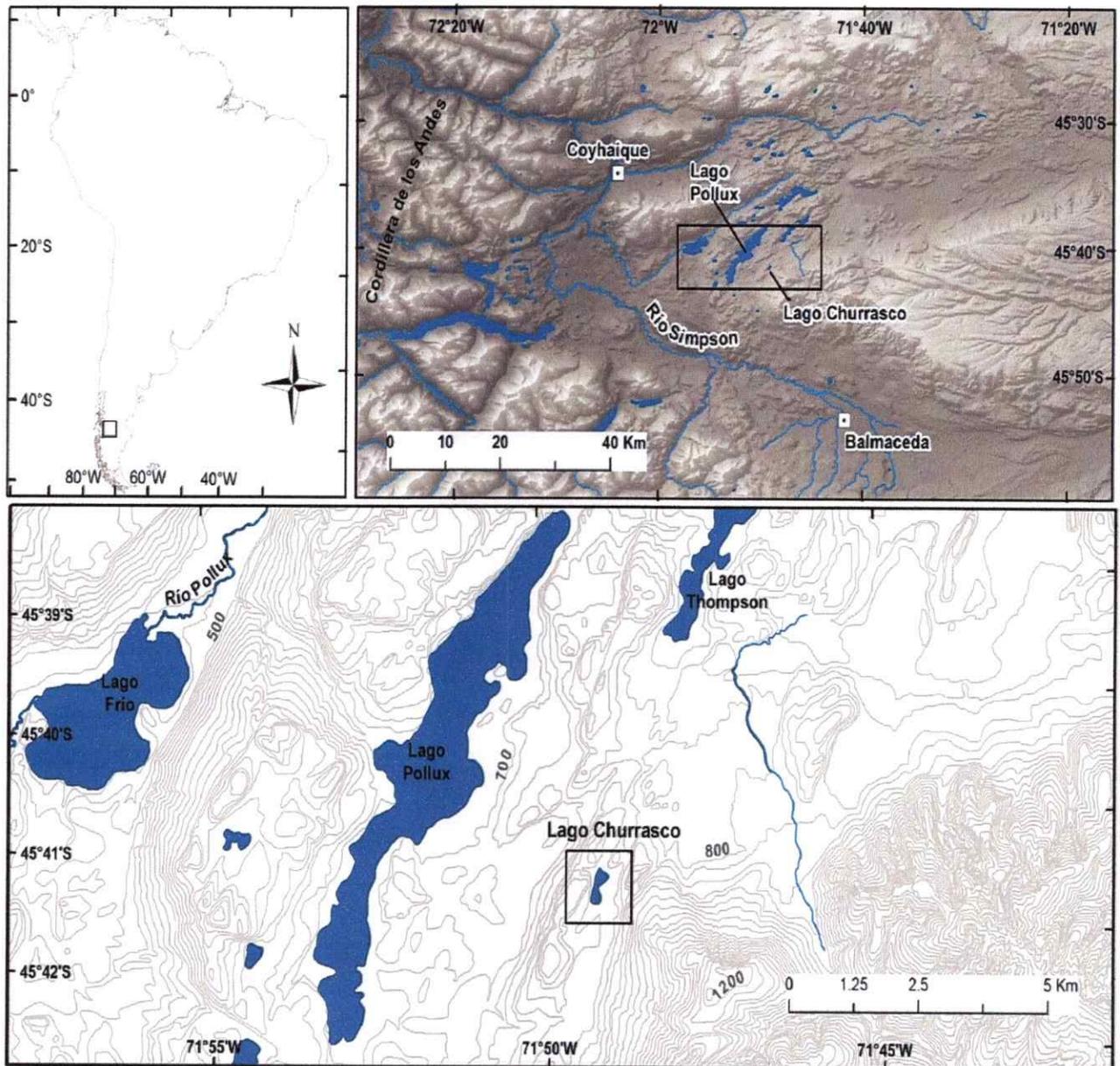


Figura 1: Ubicación de Laguna Churrasco. A) y B) Zona de estudio correspondiente al área de Patagonia Centro. C) Localización de Laguna Churrasco y otros lagos mayores como referencia.



Obtención de muestras

Durante el mes de Abril de 2011 obtuvimos un testigo de interfase agua-sedimento de 87 cm de largo a partir de Laguna Churrasco, proveniente de una profundidad de 4,8 m usando un barreno de pistón con una cámara de plexiglás de 1 m de largo y 7,5 cm de diámetro. Este testigo se muestreó en el terreno en segmentos de 1 cm continuos-contiguos que se almacenaron en bolsas plásticas bajo el código PC1107SC, rotulándose la profundidad correspondiente y posteriormente almacenados en una cámara fría a 4°C en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

Análisis de muestras

Obtuve muestras para desarrollar el análisis de Pérdida por Ignición (PPI) según lo expuesto por Villa-Martínez & Moreno (2007), tomándose muestras de 1 cc de cada profundidad, las cuales se quemaron en una mufla Thermolyner 30400 a 550°C por 2 horas y posteriormente en una mufla Nabertherm Controller B170 a 925°C por 4 horas. El PPI permite cuantificar el contenido de materia orgánica (PPI₅₅₀) y un diferencial de siliciclastos y carbonatos (PPI₉₂₅) de los sedimentos inorgánicos (Jara & Moreno 2012).

Las muestras para análisis de polen se procesaron usando protocolos estándar consistentes en defloculación con KOH 10%, disolución de silicatos con HF 40% y digestión de la materia orgánica mediante acetólisis (Faegri & Iversen 1975). A los concentrados se les agregó aceite de silicona y se observaron en un estereomicroscopio Zeiss Axioskop a 400x y 1000x de aumento. Paralelamente se

agregaron cantidades conocidas de esporas de *Lycopodium* exótico (n=37168) a cada muestra con el fin de calcular concentraciones y tasas de acumulación de carbón microscópico. Cada muestra tuvo un conteo mínimo de 500 granos de polen provenientes de plantas terrestres. Los granos de polen se identificaron usando libros de identificación (Heusser 1971, Villagrán 1980) y una palinoteca de referencia. Los datos fueron ingresados en el programa Tilia (Grimm 1987) para realizar los diagramas polínicos expresados en porcentajes. Posteriormente se realizó un análisis CONISS (Constrained Incremental Sum of Squares) para poder caracterizar diferentes zonas de cambio en las estratigrafías polínicas. En el análisis CONISS se usó el coeficiente de disimilitud Edward y Cavalli-Sforza, que mediante sumatorias de raíz cuadrada aplicadas a frecuencias en las taxas vegetales, permite obtener valores con los cuales se pueden desarrollar dendogramas, para esto se consideraron sólo los taxa terrestres con un porcentaje superior al 2%, recalculándose tanto las sumas como los porcentajes.

La historia local de fuego se construyó a partir del procesamiento de 2 cc de sedimento de cada muestra con KOH 10% para posteriormente filtrar el material restante en tamices de 106 y 212 μm y contabilizar las partículas de carbón que quedaron en estos tamices mediante una lupa Zeiss KL1500 LCD. Dichas cuentas se expresan en valores de concentración (partículas de carbón/cc).

Datación por Plomo (^{210}Pb)

Se procesaron los 15 centímetros superiores mediante secado en una mufla Shellab 1370GX a 105°C durante 24 horas, posteriormente se rotularon individualmente y se enviaron a MyCore Scientific Inc. en Ontario, Canadá, para medir la actividad de ^{210}Pb .

RESULTADOS

Estratigrafía y Cronología

El testigo PC1107SC posee una longitud de 87 cm y está constituido por barro orgánico lacustre (gyttja) altamente homogéneo a lo largo de todo el registro. Se identificaron visualmente 2 tefras que posteriormente fueron corroboradas por el análisis de PPI (Orgánicos < 10%, densidad de siliciclastos > 0,3), identificándose una tefra a los 52 cm de longitud con un grosor de 1 cm y la otra entre 81 y 83 cm de longitud (Figura 2).

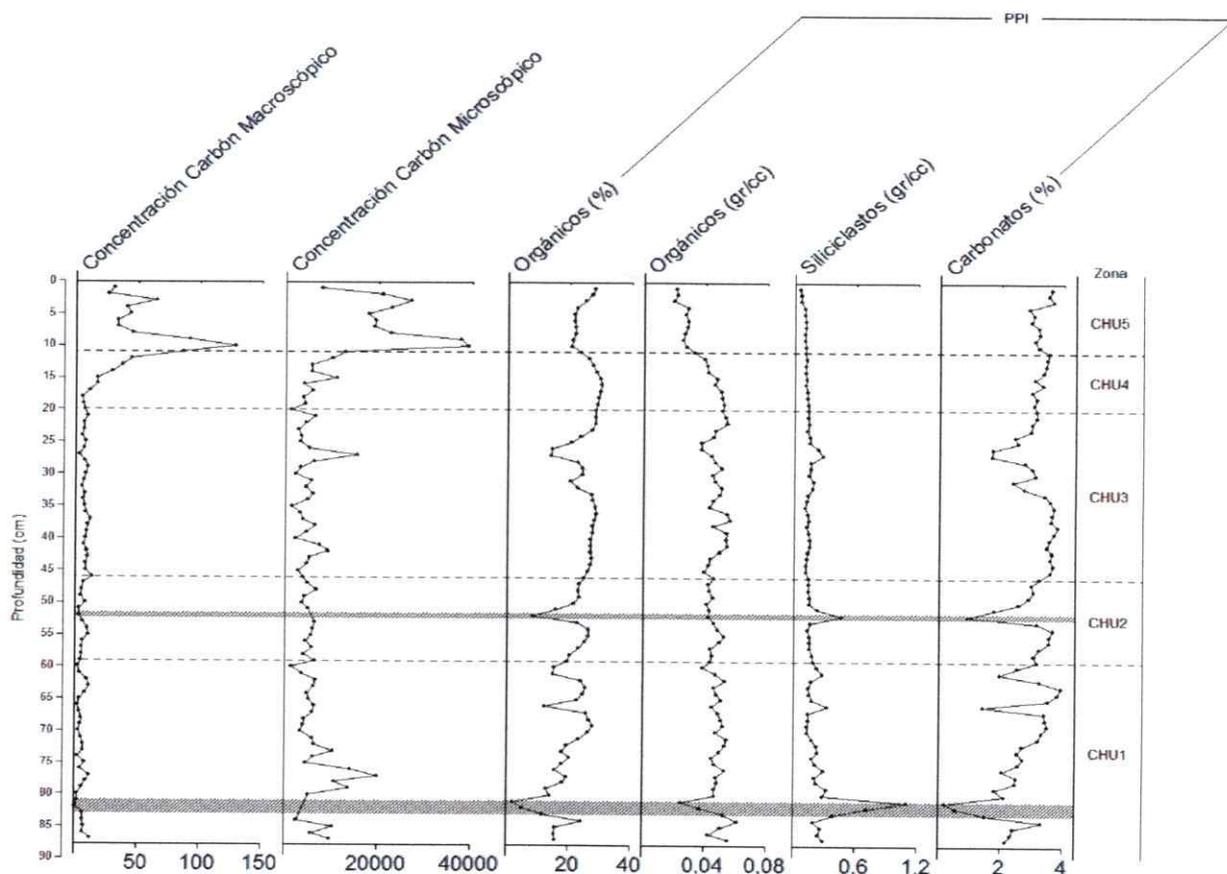


Figura 2: Concentraciones de carbono micro y macroscópico comparadas con los porcentajes de materia orgánica, carbonatos y densidad de materia orgánica y siliciclastos del registro de Laguna Churrasco. Las líneas puntuadas delimitan las zonas de análisis y las zonas sombreadas indican la presencia de tefras.

La cronología del tramo superior del registro muestra un decaimiento progresivo de la actividad de ^{210}Pb hasta llegar a valores indetectables en el centímetro 14, obteniéndose un rango útil de medición total de 141 años, desde el año 1870 en el centímetro 13 hasta el año 2011 en el centímetro 1 (Tabla 1).

Límite Superior (cm)	Límite Inferior (cm)	Humedad (%)	Pb-210 (Bq/g)	Desv. Estándar (%)	Edad (años)	Tasa de Acumul. (g/m ² /año)	Coef. Variac. (%)	Desv. Estándar (años)
0	1	94,00	0,065	6,1	2011	140,0	10,3	0
1	2	93,00	0,069	5,5	2007	115,2	9,4	0
2	3	92,00	0,047	7,6	2003	155,3	13,5	1
3	4	91,00	0,031	8,0	1998	223,2	16,4	2
4	5	90,00	0,030	9,9	1995	216,8	19,9	3
5	6	90,00	0,047	6,9	1991	111,3	12,6	2
6	7	89,00	0,036	7,2	1984	119,8	14,3	4
7	8	89,00	0,048	7,4	1976	66,5	13,2	5
8	9	89,00	0,036	8,3	1960	56,3	15,9	8
9	10	88,00	0,020	9,1	1939	64,0	23,9	17
10	11	90,00	0,017	7,5	1921	47,7	24,9	22
11	12	89,00	0,012	8,8	1898	44,7	44,2	50
12	13	88,00	0,009	9,2	1870	38,6	85,4	121
13	14	88,00	0,008	8,6	Background			
14	15	88,00	0,006	10,8				

Tabla 1: Tabla resumen de los resultados obtenidos en la datación de ^{210}Pb para Laguna Churrasco. Los valores de "background" corresponden a niveles cuya actividad ^{210}Pb es menor al rango detectable.

Registro de Polen

Se estudió el contenido de polen y carbón a lo largo del testigo, excluyéndose los centímetros correspondientes a tefra (dejando un total de 83 muestras). Los datos de carbón fueron expresados como concentración (Figura 2) y los datos de polen se expresaron mediante un diagrama de porcentajes (Figura 3). Se dividió el diagrama en 5 zonas donde los cambios polínicos son visualmente más evidentes, posteriormente procedieron a corroborarse y ajustarse mediante un análisis CONISS (Figura 3). A continuación se describirán las distintas zonas polínicas indicando su profundidad y especies dominantes (cuyo valor promedio se expresa entre paréntesis), así como también los cambios más conspicuos:

Zona CHU1 (87-59 cm): *Nothofagus* tipo *dombeyi* (85%) domina el ensamble polínico, acompañado por Poaceae (8%) y *Misodendron* (4%), planta parásita del género *Nothofagus* (Carlquist 1987), dichos taxa se encuentran estables a lo largo de la zona, al igual que *Rumex* (1%), los taxa acuáticos Cyperaceae (1,5%), *Myriophyllum* (1%) y la microalga *Pediastrum* (35%). Se observa una ligera tendencia al aumento de *Podocarpus nubigena* (de 0,5 a 1,8%), así como de la acuática *Isoetes savatieri* (de 0,5% a 1,3%).

Zona CHU2 (59-46 cm): *Nothofagus* tipo *dombeyi* (85%) domina prácticamente sin variación, salvo un descenso puntual (80%) a los 46 cm. Existen ligeras tendencias al descenso en *Podocarpus nubigena* (de 1% a valores <0,5%), *Misodendron* (de 4 a 3%)

y en *Pediastrum* (de 40% a 30%). En Poaceae vemos una ligera tendencia a la disminución (de 8 a 5%) pero con 2 peaks (>10%) a los 59 y 46 cm.

Zona CHU3 (46-20 cm): *Nothofagus* tipo *dombeyi* domina esta zona (85%), presentando un leve descenso en torno a los 20 cm (de 85% a 75%). Hay un ligero aumento de *Podocarpus nubigena* (de 0,3 a 1%), Poaceae (de 5% a 10%) y en las acuáticas Cyperaceae (de 1,5 a 2%, con un peak de 5% en 20 cm) e *Isoetes savatieri* (de 1 a 2%). Se registran descensos en *Misodendron* (de 3 a 2%) y de *Pediastrum* (de 30 a 25%). Vemos apariciones puntuales del taxón exótico *Pinus* sp. (< 1%), además de Asteraceae Asteroideae (< 1%), Asteraceae Cichorioideae (< 1%) y *Potamogeton* (< 1%).

Zona CHU4 (20-11 cm): Zona totalmente dominada por *Nothofagus* tipo *dombeyi* (85%), el cual exhibe una disminución (a 80%) terminando en el centímetro 11. Observamos ligeros descensos en *Podocarpus nubigena* (de 1 a 0,5%), Poaceae (de 10 a 8%) y en las acuáticas Cyperaceae (de 5 a 2%), *Isoetes savatieri* (de 2 a 1%) y *Pediastrum* (de 25% a 20%). Existen registros puntuales para *Pinus* sp. (< 1%), Asteraceae Asteroideae (< 1%), Asteraceae Cichorioideae (< 1%) y de la acuática *Potamogeton* (< 1%). Aparece el taxón exótico *Plantago* (< 1%) y aumenta ligeramente *Rumex* (>1%).

Zona CHU5 (11-1 cm): *Nothofagus* tipo *dombeyi* domina el ensamble polínico pero registra un descenso importante y sostenido llegando a su valor mas bajo de todo el registro en el techo del testigo (73%), al igual que *Podocarpus nubigena* (0,5%) y la microalga *Pediastrum* (20%). Se aprecian aumentos considerables y sostenidos de

Misodendron (de 2 a 8%), Poaceae (de 10 a 20%), Asteraceae Cichorioideae (de 0,2 a 1%) y de las acuáticas Cyperaceae (de 2 a 6%), *Isoetes savatieri* (de 1 a 4%), *Potamogeton* (de 0 a 4%) y *Myriophyllum* (de 0 a 10%). Los taxa exóticos *Pinus sp.* (de < 1% a 2%), *Plantago* (de < 1% a 2%) y *Rumex* (de 3 a 8%), también registran aumentos sostenidos y evidentes en sus porcentajes.

Observamos que en torno al centímetro 8 (año 1975 DC) comienza a aumentar la tasa de acumulación de polen de las taxas vegetales (figura 4), alcanzando sus valores máximos entre los centímetros 5 (año 1995 DC) y 2 (año 2007 DC), exceptuando Poaceae, cuyo valor máximo se registra en el centímetro 1 (año 2011 DC).

Registro de Carbón

La concentración de carbón macro y microscópico (figura 2) casi no presenta variaciones en las zonas CHU1, CHU2 y CHU3, mostrando valores cercanos a las 10 partículas/cc de carbón macroscópico y 5000 partículas/cc de carbón microscópico, salvo dos peak de este último, registrados en el centímetro 77 y 27, con valores de ~20000 y ~16000 partículas/cc respectivamente. En CHU4, podemos ver un incremento sostenido de las concentraciones de carbón macroscópico y microscópico, llegando a valores de ~80 partículas/cc y ~10000 partículas/cc en el centímetro 11 (año 1921 DC) respectivamente. Finalmente en CHU5 se registran tendencias similares en ambos tipos de carbón, con un peak en el centímetro 10 (año 1939 DC, ~130 partículas/cc de carbón macroscópico y ~40000 partículas/cc de carbón microscópico), un posterior descenso hasta el centímetro 6 (año 1991 DC, ~40 partículas/cc de carbón

macroscópico y ~18000 partículas/cc de carbón microscópico), luego otro peak en el centímetro 3 (año 2003 DC, ~60 partículas/cc de carbón macroscópico y ~26000 partículas/cc de carbón microscópico) y un descenso abrupto hasta el centímetro 1 (año 2011 DC), registrándose concentraciones de ~35 partículas/cc de carbón macroscópico y ~8000 partículas/cc de carbón microscópico.

La tasa de acumulación tanto de carbón microscópico como macroscópico (figura 4) comienza a aumentar en torno al centímetro 11 (año 1921 DC), alcanzando sus valores máximos entre los centímetros 3 (año 2003 DC) y 5 (año 1995 DC). El carbón macroscópico no registra peaks, sino que muestra un crecimiento y descenso paulatino, no así el carbón microscópico que registra 2 peaks, uno en el centímetro 3 y el otro en el centímetro 5.

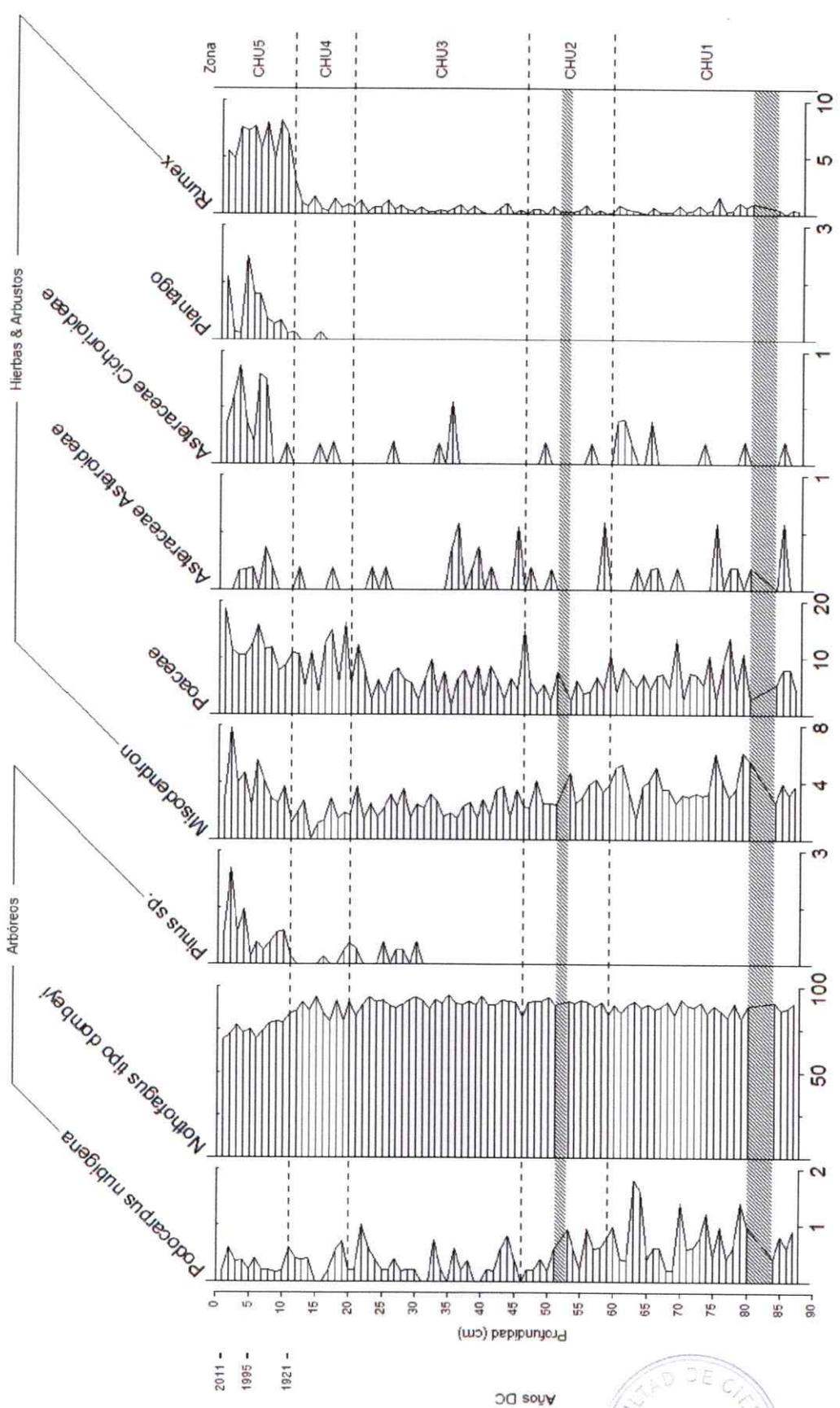


Figura 3: Diagrama de porcentajes de polen de taxas seleccionadas de Laguna Churrasco. Las líneas punteadas delimitan las zonas de análisis y las zonas sombreadas indican la presencia de tefra. Se indicaron solo algunas dataciones de ^{210}Pb como referencia



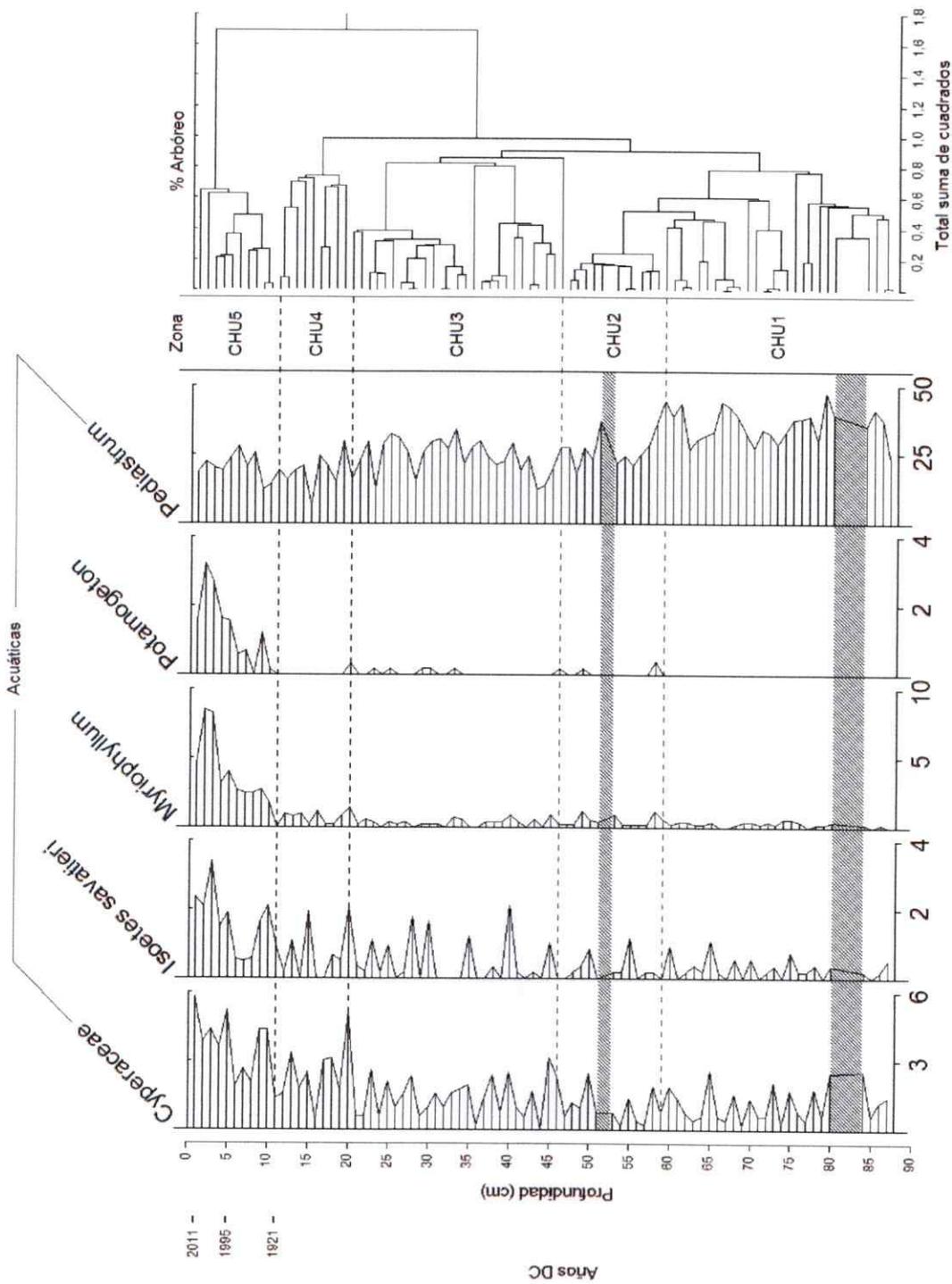


Figura 3 (cont.): Continuación del diagrama de porcentajes de polen de taxas seleccionadas de Laguna Churrasco. Las líneas punteadas delimitan las zonas de análisis y las zonas sombreadas indican la presencia de tefra.

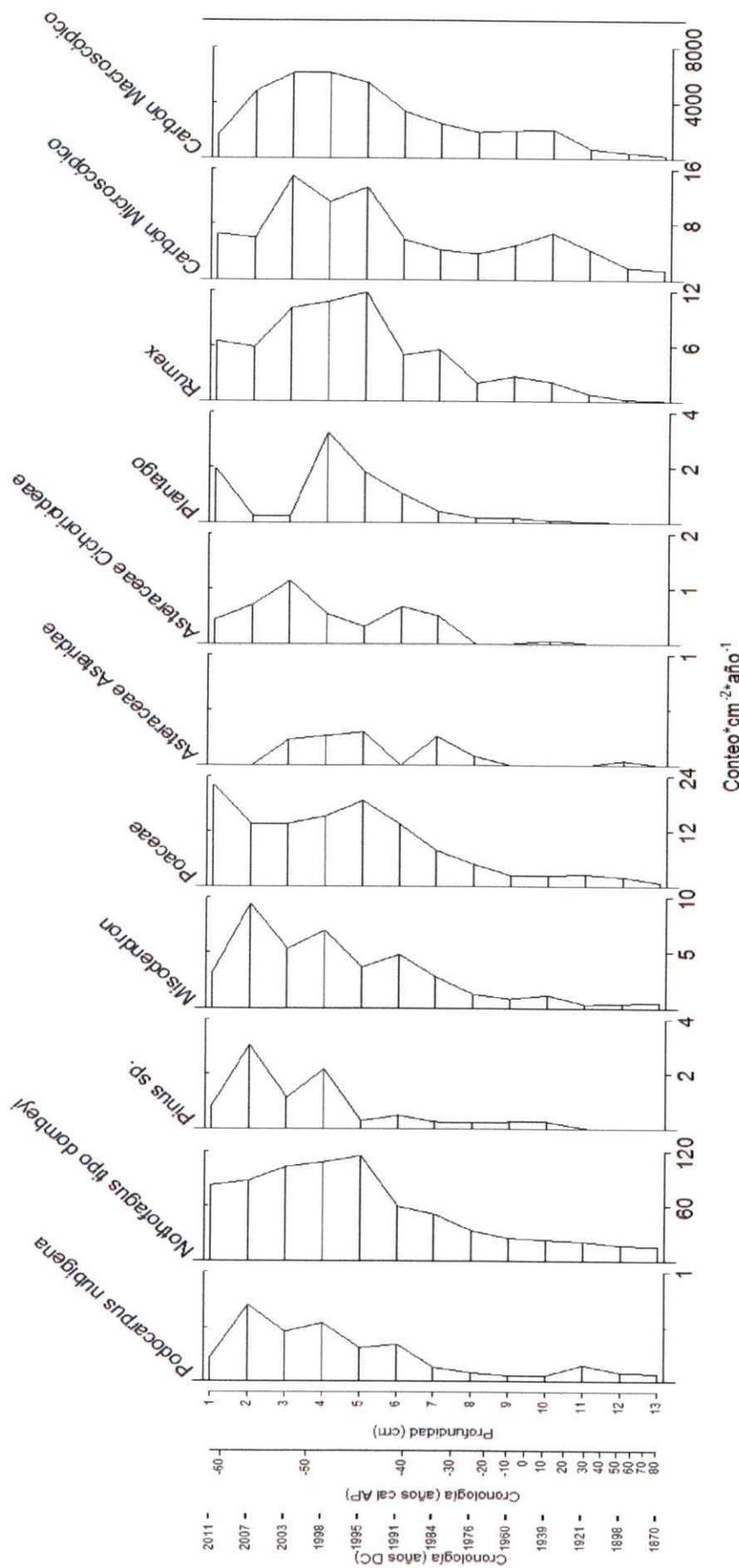


Figura 4: Tasas de acumulación calculadas a partir de las dataciones de ^{210}Pb para los 13 centímetros superiores del testigo. En este caso el conteo corresponde a granos de polen en las taxas vegetales y partículas para el carbón.

DISCUSIÓN

Vegetación y clima

El ensamble polínico observado a lo largo de todo el registro (figura 3) está dominado totalmente por el palinomorfo *Nothofagus* tipo *dombeyi*, Poaceae y en menor medida por la planta parásita *Misodendron*. Podemos apreciar poca variación durante las tres zonas basales (CHU1, 2 y 3), tanto en las especies terrestres como acuáticas. Cabe destacar las disminuciones de la especie terrestre *Podocarpus nubigena* y *Misodendron*, así como también de la microalga *Pediastrum* desde el centímetro 59. Se observan granos de *Pinus sp.* entre los centímetros 31- 24, y 22- 15.

En la siguiente zona (CHU4) se aprecian variaciones con tendencia a la disminución en *Podocarpus nubigena* (entre los centímetros 19 y 15), *Misodendron* (entre los centímetros 20 y 14) y Poaceae (entre los centímetros 19 y 13), posiblemente debido a una apertura de bosque interpretable por el aumento de Poaceae y a un ligero descenso en los porcentajes de *Nothofagus* tipo *dombeyi* (entre los centímetros 20 y 16). En las plantas acuáticas se observa un descenso importante en *Pediastrum*, además de un ligero incremento en el porcentaje de Cyperaceae y de *Myriophyllum*.

En el tramo más superficial (CHU5) podemos apreciar una disminución sostenida de *Nothofagus* hacia el techo del testigo, así como aumentos persistentes de *Misodendron*, Poaceae, Asteraceae Cichorioideae, interpretables como una notable apertura del bosque con subsiguiente colonización de hierbas y arbustos, así como

también de plantas exóticas dados los fuertes aumentos de *Pinus sp*, *Plantago* y *Rumex sp*. En acuáticas se observan aumentos desde el centímetro 11 (año 1921 DC) al 1 (año 2011 DC) en *Cyperaceae*, *Isoetes savatieri*, *Myriophyllum* y *Potamogeton*, con un descenso en los porcentajes de todas estas plantas entre los centímetros 6 (año 1991 DC) y 9 (año 1960 DC).

El registro polínico de Laguna Churrasco sugiere la persistencia de bosques dominados por especies del género *Nothofagus* durante todo el registro, con señales polínicas evidenciables de *Podocarpus nubigena* entre los centímetros 79-53. La porción más cercana al techo (11-1, años 1921-2011 DC) del registro sugiere apertura del bosque y proliferación de hierbas, arbustos y especies exóticas de origen europeo, dando cuenta de perturbación antrópica de gran escala e incremento de especies introducidas invasivas (ej. Diente de león (*Taraxacum officinale*) y *Pinus sp.*), ya sean con fines económicos, ornamentales o accidentalmente.

El registro de taxa acuáticos muestra un fuerte incremento de las especies litorales y un descenso en la microalga *Pediastrum*. Dado que las señales de las especies litorales se magnifican mientras más somero sea el cuerpo lacustre, opuesto a lo que ocurre con *Pediastrum*, microalgas pelágicas, podemos interpretar una disminución del cuerpo lacustre prácticamente sostenida durante todo el registro, agudizándose durante los tramos más recientes del registro.

La disminución de la conífera higrófila resistente al frío *Podocarpus nubigena* (Villa-Martínez y col. 2012), así como la evidencia previamente expuesta de la disminución del tamaño de Laguna Churrasco, interpretable por los aumentos en las especies

acuáticas litorales hacia momentos más actuales del registro y el registro de cambios en la vegetación terrestre nos sugiere una tendencia de disminución en los montos de precipitación hacia el presente.

Creemos que los granos de *Pinus sp.* encontrados entre los centímetros 31-24, y entre 22-15 podrían provenir de dos posibles fuentes: i) origen exógeno al área de estudio y llevado hasta el lago mediante procesos de anemofilia de gran distancia, puesto que la zona de Coyhaique aun no presentaba asentamientos humanos chileno-europeos previo al siglo XIX, pero sí había en zonas costeras de la región (Butland 1957, Ortega & Brünning 2004), aunque existen registros de que ornamentalmente se está plantando desde el siglo XVII por los europeos asentados en el centro y sur de Chile (Simberloff y col. 2009), usado para controlar la erosión y estabilizar dunas especialmente en las costas chilenas entre la región de Valparaíso y de Los Lagos en 1910 y con objetivos comerciales (*Pinus radiata*) desde los años 1960 en el sur de Chile (Simberloff y col. 2009, Toro & Gessel 1999), eliminando esta posibilidad y dándonos a creer que esta presencia se debe a ii) contaminación durante el procesamiento de las muestras, por polen de pino atmosférico, debido a que no hubo error en los protocolos de procesamiento, descartando la contaminación cruzada de muestras.

Régimen de fuego

En los centímetros superiores del registro (CHU4 y 5) vemos incrementos sostenidos en las concentraciones de carbón microscópico y macroscópico, con peaks coincidentes en ambas fracciones a los 10 y 3 cm (año 1939 y 2003 DC, respectivamente) es posible atribuir estos incrementos a la acción antrópica de los colonos chilenos-europeos que se asentaron en la zona, así como también el aumento en el uso de fuego como herramienta de despeje de bosque (Armesto y col. 2010, Butland 1957, Ortega & Brünning 2004, Otero 2006, Veblen y col. 1996).

Perturbación chileno-europea

El valle del río Coyhaique fue descubierto en Febrero de 1897, por el grupo de Fischer, von Schellendorf, Dusén y compañía, su arribo se produjo siguiendo el río Simpson hasta su intersección con el río Coyhaique. Mientras que las primeras colonizaciones se remontan a Septiembre de 1903, realizadas por Dun y Sanhueza (desde Aysén) a pedido de la llamada en aquella época, Sociedad Industrial del Aysén (Martinic 2005).

El registro polínico (figura 3) muestra un descenso del palinomorfo *Nothofagus* tipo *dombeyi* durante los 11 centímetros superiores (años 1921-2011 DC), contemporáneo con aumentos sostenidos de las plantas exóticas *Pinus sp.*, *Plantago* y *Rumex*. Esta apertura de bosque con establecimiento de praderas antrópicas no es visible en ningún otro momento a lo largo del testigo. También se observa incrementos

sostenidos de Poaceae y Asteraceae Cichorioideae, este último adjudicable principalmente a la especie europea *Taraxacum officinale* (Diente de león).

Los cambios vegetacionales advertibles en el registro covarían con el registro de carbón, donde vemos fuertes incrementos en las concentraciones de carbón micro y macroscópico en el tramo superior del testigo. Podríamos atribuir estos incrementos a la acción del fuego iniciado por los colonos chileno-europeos que lo usaron como herramienta de despeje de bosque (Armesto y col. 2010, Otero 2006, Veblen y col. 1996), para poder usar los terrenos para viviendas, ganado y agricultura. Existen datos de incendios descontrolados originados por los colonos entre 1930 y 1950 DC, donde más del 50% de las áreas de bosques de Aysén fueron quemadas (Armesto y col. 2010, Otero 2006, Veblen y col. 1996), lo que nos hace pensar fuertemente que la perturbación que estamos presenciando está altamente influenciada por la acción de los colonos chileno-europeos. Es debido a esto último que debería considerarse el factor antrópico como importante en los procesos de cambios vegetacionales, ya que, como podemos ver en el registro de Laguna Churrasco, se nos muestra un vegetación poco alterada durante los últimos ~2000 años, exceptuando los tramos recientes (desde 1870 DC) donde advertimos apertura considerable del bosque y expansión de praderas antrópicas.

Implicancias regionales

Existe poca información detallada sobre regímenes de fuego (naturales y/o antrópicos) en la Región de Aysén y más específicamente en el área cercana a Coyhaique durante los últimos ~2000 años, donde podemos ver más claramente los cambios vegetacionales ocurridos desde la llegada del colono chileno-europeo, el cual debe ser considerado como una fuente importante de perturbación.

Szeicz y col (1998) realizaron el primer estudio palinológico de alta resolución temporal en la zona cercana a Coyhaique, su sitio de estudio fue Laguna Venus, ubicada a 23 km al noroeste de Laguna Churrasco. En dicho estudio usaron un testigo de 58 cm de largo, donde el diagrama polínico muestra algo similar a lo que obtuvimos en Laguna Churrasco, es decir, dominancia de bosque de *Nothofagus* hasta los centímetros superiores donde disminuye dando a lugar incremento de taxa exóticos como *Rumex*, *Plantago* y *Pinus sp.*, así como también de Poaceae y *Misodendron*. Szeicz y col. registraron como inicio de la perturbación humana los años 1910-1920 DC, basándose en las disminuciones de *Nothofagus* y aumentos de Poaceae, *Rumex*, *Plantago*, *Pinus sp.* y carbón macroscópico. El registro de Laguna Venus muestra un único incremento de *Pinus sp.* en el primer centímetro (año 1984 DC), el cual fue atribuido a las plantaciones recientes de *Pinus radiata* en la zonas próximas a Laguna Venus. Los registros históricos, sin embargo, indican que las plantaciones de *Pinus radiata* datan de 1885 DC, en el centro y sur de Chile (Toro & Gessel 1999), sugiriendo que Laguna Venus podría representar un registro extremadamente local. En el caso de Laguna Churrasco la señal de *Pinus sp.* comienza en el centímetro 12 (año 1898 DC); y muestra peaks en los años 1939 DC, probablemente por la invasión en zonas

despejadas producto de las quemas chileno-europeas de principios de los años 1930 DC y otro aun mayor en el año 2003 DC, producto de la ya establecida plantación de pino para fines comerciales. Estos datos nos dan a entender que Laguna Churrasco es capaz de sensar señales de cambio vegetacional y ocurrencia de fuego extra locales o, posiblemente, regionales.

CONCLUSIONES

El registro de Laguna Churrasco provee evidencia de cambios vegetacionales y climáticos ocurridos durante los últimos ~2000 años, en un área adyacente al ecotono bosque-estepa en el Este de Patagonia Centro, próximo a Lago Pollux. Basados en estos datos podemos concluir lo siguiente:

1. Entre los centímetros 87-59 observamos componentes del bosque lluvioso Norpatagónico y deciduo Subantártico, con dominancia de especies del género *Nothofagus*. También podemos inferir un clima más frío/húmedo con respecto a la actualidad, debido a la abundancia de la especie higrófila tolerante al frío *Podocarpus nubigena*.
2. Entre los centímetros 59-46 se observa aun dominio de *Nothofagus* y otros componentes de bosque. En este momento podemos inferir un clima algo menos húmedo/frío interpretable al aumento de las especies indicadoras de borde lacustre, Poaceae y Cyperaceae, además de las disminuciones de *Podocarpus nubigena*.
3. Entre los centímetros 46-20 sigue dominando *Nothofagus* y componentes de bosque. Persiste el cambio a menor frío/humedad dado los descensos de *Podocarpus nubigena*.

4. Durante los centímetros 20-11 se interpreta un clima aun menos húmedo que en los tramos previos, estimable por la disminución de *Podocarpus nubigena* y *Pediastrum*. Los elementos del bosque siguen siendo muy importantes y *Nothofagus* sigue dominando, aunque presenta algunos descensos de consideración.
5. En los once centímetros superiores (años 1921-2011 DC) vemos un descenso importante en *Nothofagus* atribuible a perturbación antrópica en vista de los altos valores en las concentraciones de carbón micro y macroscópico, así como también al incremento explosivo de las plantas exóticas *Pinus sp.*, *Plantago* y *Rumex*.
6. Podemos inferir un cambio actual desde bosque cerrado a bosque abierto con componentes de pradera debido al aumento de Poaceae, y Asteraceae Cichorioideae. Además se presenta una fuerte presencia de las plantas exóticas *Pinus sp.*, *Plantago* y *Rumex*. Dicho cambio ocurre en un intervalo de 148 años y no es evidenciable en otro momento a lo largo del registro, por lo tanto, es fuertemente atribuible a factores antrópicos que hayan producido o acelerado dichos cambios.



BIBLIOGRAFÍA

Armesto, J., Manuschevich, D., Mora, A., Smith-Ramirez, C., Rozzi, R., Abarzúa, A & Marquet, P. 2010. From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land Use Policy* 27 (2), pp. 148-160.

Broecker, W. 2000. Abrupt climate change: casual constraints provided by the paleoclimate record. *Earth-Science Reviews* 51, pp 137–154.

Broecker, W. & Denton, G. 1989. The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53, pp. 2465-2501.

Butland, G. 1957. *The Human Geography of Southern Chile*. Institute of British Geographers 24, George Philip & Son, London, 132 pp.

Carlquist, S. 1985. Wood and steam anatomy of Misodendraceae: Sistematic an ecological conclusions. *Brittonia* 37, pp 58-75.

Clapperton, C. 1993. *The Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Elsevier, Amsterdam.

Clark, J. & Royall, P. 1995. Particle size evidence for source areas of charcoal accumulation in Late Holocene sediments of eastern North American lakes. *Quaternary Research* 43, pp 80–89.

Cofer, W., Koutzenogii, K., Kokorin, A, & Ezcurra, A. 1997. Biomass burning emissions and the atmosphere. En: Clark JS, Cachier H, Goldammer JG, Stocks B (eds) Sediment records of biomass burning and global change. NATO ASI Series 1: Global Environmental Change 51, Springer (Berlin), pp.189-206.

Faegri, K. & Iverson, J. 1975. Textbook of Pollen Analysis, 3rd ed. Blackwell, Oxford, 295 pp.

Forsythe, R. & Nelson, E. 1985. Geological manifestations of ridge collision: evidence from the Golfo de Penas, Taitao Basin, southern Chile. *Tectonics* 4, pp 477–495.

Foster, D., Schoonmaker, P. & Pickett, S. 1990. Insight from Paleoecology to Community Ecology 5 (4), pp.119-122.

Garreaud, R. 2007. Precipitation and Circulation Covariability in the Extratropics. *Journal of Climate* 20, pp 4789–4797.

Glasser, N., Harrison, S., Winchester, V. & Aniya M. 2004. Late Pleistocene and Holocene palaeoclimate and glacier fluctuations in Patagonia. *Global and Planetary Change* 43, pp 79–101. Grimm, E., 1987. CONISS: A fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers and Geosciences* 13 pp 13-35.

Grimm, E. 1991. Tilia 1.12, Tilia*Graph 1.18. Illinois State Museum, Research and Collection Center, Springfield, IL.

Hein, A., Hulton, N., Dunai, T., Sugden, D., Kaplan, M.R. & Xu, S. 2010. The chronology of the Last Glacial Maximum and deglacial events in central Argentine Patagonia. *Quaternary Science Reviews* 29, pp 1212–1227.

Heusser, C. 1971. *Pollen and Spores of Chile*. The University of Arizona Press, Tucson, 167pp.

Jara, I & 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 (2), pp. 235-244.

Mardones, M., González L., King, R. & Campos, E. 2011. Variaciones glaciales durante el Holoceno en Patagonia Central, Aisén, Chile: evidencias geomorfológicas. *Andean Geology* 38 (2), pp 371-392.

Markgraf, V., Whitlock, C. & Haberle, S. 2007. Vegetation and fire history during the last 18,000 cal yr B.P. in Southern Patagonia: Mallín Pollux, Coyhaique, Province Aisén (45°41'30" S, 71°50'30" W, 640 m elevation). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **254** (3-4), pp. 492-507.

Martinic, M., 2005. De la trapananda al Aysén: Una mirada reflexiva sobre el acontecer de la región de Aysén, desde la prehistoria hasta nuestros días. Pehuén Editores Limitada, 539 pp.

Miller, A., 1976. The Climate of Chile. En: Schwerdtfeger, W (Ed), *Climates of Central and South America*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, pp. 113-145.

Moreno, P.I., François, J.P., Villa-Martínez, R.P. & Moy, C.M. 2009. Millennial-scale variability in Southern Hemisphere westerly wind activity over the last 5000 years in SW Patagonia. *Quaternary Science Reviews* **28**, pp 25–38.

Moy, C., Moreno, P.I., Dunbar, R., Kaplan, M., François, J.P., Villalba, R. & Haberzettl, T. 2009. Climate Change in Southern South America during the Last Two Millennia. En: Vimeux, F., Sylvestre F. & Khodri, M. (Eds). *Past climate variability in South America and surrounding regions. Developments in Paleoenvironmental Research* **14** (3), pp. 353-393.

Naranjo, A. & Stern, C. 1998. Holocene Explosive activity of Hudson Volcano, southern Andes. *Bulletin of Volcanology* **59** (4), pp. 291-306.

Ortega, H. & Brünning, A. 2004. Aisén, panorama histórico y cultural XI región. Lom Ediciones Ltda. 270 pp.

Otero, L. 2006. La huella del fuego. Historia de los bosques nativos y cambios en el paisaje del sur de Chile. Pehuén Editores, Santiago, Chile. 171 pp.

Paruelo, J., Jobbágy, E., Oesterheld, M., Golluscio, R. & Aguiar, M. 2007. The Grasslands and Steppes of Patagonia and the Río de la Plata Plains. En: Veblen, T., Young, K. & Orme, A. The physical geography of South America, Oxford University Press, pp 232-248.

Power, M., Marlon, J., Ortiz, N., Bartlein, P., Harrison, S. Mayle, F., Ballouche, A., Bradshaw, R., Carcaillet, C., Cordova, C., Mooney, S., Moreno, P., Prentice, I., Thonicke, K., Tinner, W., Whitlock, C., Zhang, Y., Zhao, Y., Anderson, R., Beer, R., Behling, H., Briles, C., Brown, K., Brunelle, A., Bush, M., Camill, P, Chu, G., Clark, J., Colombaroli, D., Daniels, M., Dodson, J., Doughty, E., Edwards, M., Fisinger, W., Foster, D., Gaillard, M., Gavin, D., Gobet, E., Haberle, S., Hallett, D., Higuera, P., Hope, G., Horn, S., Inoue, J., Kaltenrieder, P., Kennedy, L., Kong, Z., Larsen, C., Long, C., Lynch, J., Lynch, B., McGlone, M., Meeks, S., Mensing, S., Meyer, G., Minckley, T., Mohr, J, Newnham, R., Noti, R., Oswald, W., Pierce, J., Richard, P., Shuman, B., Takahara, H., Toney, J., Turney, C., Umbanhower, C., Vandergoes, M., Vanniere, B., Vescovi, E., Walsh, M., Wang, X., Williams, N., Wilmshurst, J. & Zhang, J.. 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)**, pp 887-907.

Sepúlveda, S. & Serey, A. 2009. Tsunamigenic, earthquake-triggered rock slope failures during the April 21, 2007 Aisén earthquake, southern Chile (45.5°S). *Andean Geology* **36** (1), pp 131-136.

Schmithusen, J. 1956. Die raumliche ordnung der chilenischen vegetation. *Bonner Geographische Abhandlungen* **17**, pp 1-81.

Simberloff, D., Nuñez, M., Ledgard, N., Pauchard, A., Richardson, D., Sarasola, M., van Wilgen, B., Zalba, S., Zenni, R., Bustamante, R., Peña, E. & Ziller, S. 2009. Spread and impact of introduced conifers in South America: Lessons from other southern hemisphere regions. *Austral ecology* **35**(5), pp. 489-504.

Soon, W., Baliunas, S., Idso C., Idso S. & Legates D. 2003. Reconstructing Climatic and Environmental Changes of the Past 1000 Years: A Reappraisal. *Energy & Environment* **14** (2-3), pp 233-296.

Steffen, J., Andersen, K., Bigler, M., Clausen, H., Dahl-Jensen, D. Fischer, H., Goto-Azuma, K., Hansson, M., Johnsen, S., Jouzel, J., Masson-Delmotte, V., Popp, T., Rasmussen, S., Röthlisberger, R., M., Sveinbjörnsdóttir, A., Svensson, A., & Whitey, J. 2008. High- Resolution Greenland Ice Core Data Show Abrupt Climate Change Happens in Few Years. *Science* **321**, pp. 680-684.

Stine, S. 1994. Extreme and persistent drought in California and Patagonia during mediaeval time. *Nature* **369**, pp 546-549.

Sugden, D., Bentley, M., Fogwill, C., Hulton, N., McCulloch, R. & Purves, R. 2005. Late-glacial glacier events in southernmost South America: a blend of 'northern' and 'southern' hemispheric climatic signals? *Geografiska Annaler: series A, Physical Geography* **87**, pp 273–288.

Swetnam, T.W. & Betancourt, J.L. 1998. Mesoscale disturbance and ecological response to decadal climatic variability in the American Southwest. *Journal of Climate* **11**, pp 3128–3147.

Szeicz, J., Zeeb, B., Bennett, K. & Smol, J. 1998. High-resolution paleoecological analysis of recent disturbance in a southern Chilean *Nothofagus* forest. *Journal of Paleolimnology* **20**, pp 235–252.

Toggweiler, J. 2009. Shifting westerlies. *Science* **323**, pp. 1434-1435.

Toro, J. & Gessel, S. 1999. Radiata pine plantations in Chile. *New Forest* **18**, pp. 33-44.

Van der Werf, G., Randerson, J., Collatz, G., Giglio, L., Kashibhatla, S., Arellano, A., Olsen, S. & Kaschke, E. 2004. Continental-scale partitioning of fire emissions during the 1997 to 2001 El Niño/La Niña Period. *Science* **303**, pp 73-76.

Veblen, T., Schlegel, F. & Oltremari, J. 1983. Temperate broadleaved evergreen forests of South America. En Ovington, J. D. (ed.), *Temperate BroadLeaved Evergreen Forests. Ecosystems of the World* **10**, Elsevier, Amsterdam, pp 5–32.

Veblen, T. & Markgraf, V. 1988. Steppe expansion in Patagonia? *Quaternary Research* **30**, pp 331–338.

Veblen, T., Donoso, C., Kitzberger, T. & Rebertus, A. 1996. Ecology of southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forests. En T. Veblen, S. Hill & J. Read (eds), *The Ecology and Biogeography of Nothofagus Forest*, Yale University Press, New Haven, pp 293–353.

Veblen, T. 2007. Temperate forests of the Southern Andean Region. En: Veblen, T., Young, K. & Orme, A. *The physical geography of South America*, Oxford University Press, pp 217-231.

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**, pp 400–409.

Villa-Martínez, R., Moreno P., Valenzuela M. 2012. Deglacial and postglacial vegetation changes on the eastern slopes of the central Patagonian Andes (47°S). *Quaternary Science Review* **32**, pp 86-89.

Villagrán, C. 1980. Vegetationsgeschichtliche und pflanzensoziologische Untersuchungen im Vicente Perez Rosales National park (Chile). *Dissertationes Botanicae* **54**, 165 pp.

Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J. & Dokken, D.J. 2000. Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge, UK, Cambridge University Press, 377 pp.

Watt, S., Dyle, D., Naranjo, J., Gunhild, R., Mella, M., Tamsin, M. & Moreno, H. 2011. Holocene tephrochronology of the Hualaihue region (Andean southern volcanic zone, ~42° S), southern Chile. *Quaternary International* **246** (1-2), pp. 324-343.

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), pp 491-498.

Whitlock, C, Larsen, C, 2002. Charcoal as a Fire Proxy. En: Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments 3, Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 75-97.

Whitlock, C & Anderson, R. 2003. Fire History Reconstructions Based on Sediment Records from Lakes and Wetlands En: Veblen, T., Baker, W., Montenegro, G & Swetnam, T. (eds.) *Fire and Climate Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas*. Springer-Verlag, Berlin, 444 pp.

Whitlock, C., Shafer, S.H., & Marlon, J. 2003. The role of climate and vegetation change in shaping past and future fire regimes in the northwestern U.S., and the implications for ecosystem management. *Forest Ecology and Management* **178**, pp 5-21.

Whitlock, C., Bartlein, P.J., 2004. Holocene fire activity as a record of past environmental change. In: Gillespie, A., Porter, S.C. (Eds.), *Developments in Quaternary Science 1*. Elsevier, Amsterdam, pp. 479–489.

Wright, H., Mann, H. & Glasser, P. 1984. Piston corers for peat and lake sediments. *Ecology* **65**, pp 657–659.

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.