



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

Centro Regional Universitario Bariloche

**Respuestas del bosque patagónico a inundaciones
recurrentes provocadas por los endicamientos del
Glaciar Perito Moreno, Santa Cruz, Argentina**

Claudia Marcela Guerrido

Licenciada en Biología

Tesis para optar al título de

Doctor en Biología

Director: Doctor Ricardo Villalba

Co-directora: Doctora Graciela Tello

2014

Resumen

El Glaciar Perito Moreno, ubicado a los 50°30'S y 73°00'O en la provincia de Santa Cruz, Argentina, está rodeado por bosques compuestos principalmente por tres especies dominantes de *Nothofagus*: *N. betuloides* Mirb. Blume; *N. pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser y *N. antarctica* (G. Foster. Oerst.). El glaciar nace en el Campo de Hielo Patagónico Sur y se extiende pendiente abajo hasta alcanzar las aguas del Lago Argentino. Desde principios del siglo XX, el Glaciar Perito Moreno ha experimentado sucesivos avances en los que al chocar el cuerpo de hielo con la ladera opuesta del valle sobre la Península de Magallanes provoca el endicamiento de las aguas en los Brazos Sur y Rico del Lago Argentino, ubicados hacia el Sur del glaciar. El aumento del nivel en estos sectores del Lago Argentino inunda las costas circundantes cubiertas de bosques de *Nothofagus*. Los eventos de endicamiento del glaciar culminan con espectaculares rupturas de su pared frontal, permitiendo que el agua embalsada drene rápidamente hacia el océano Atlántico a través del Río Santa Cruz.

Los disturbios que afectan los bosques de los Andes patagónicos suelen ser de diferente magnitud y duración, asociados tanto a causas naturales como antrópicas. Las inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno pueden ser enmarcadas dentro de la teoría de disturbio. En los bosques de *Nothofagus* afectados por las inundaciones del Glaciar Perito Moreno, los disturbios pueden ser considerados de gran escala, ya que en las extensas áreas afectadas por la inundación se produce el reemplazo total del bosque. En este contexto, el objetivo principal de esta tesis de doctorado consiste en evaluar la respuesta del bosque patagónico a los disturbios generados por los procesos episódicos de inundación provocados por el Glaciar Perito Moreno. Los anillos de crecimiento en los árboles de grandes dimensiones muertos en pie por las inundaciones, así como los renovales que colonizan las áreas afectadas por las inundaciones, proveen excelentes oportunidades para evaluar la dinámica del bosque en respuesta a los disturbios creados por las inundaciones.

Empleando metodologías propias de la historia ambiental tales como la comparación entre fotografías antiguas y actuales, el análisis de texto y las entrevistas semi – estructuradas a personas consideradas claves, se pudo elaborar una historia detallada de los eventos de endicamiento del Glaciar Perito Moreno, así

como describir las características del bosque durante los primeros años del siglo XX. Estos documentos indican que las costas de los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino estaban completamente cubiertas por bosques de *Nothofagus* hasta el nivel regular o normal de las aguas, sugiriendo que no ocurrieron eventos de endicamiento del Glaciar Perito Moreno asociados a la muerte de los árboles en las orillas de estos lagos con anterioridad al siglo XX.

Por otro lado con técnicas dendrocronológicas se establecieron las fechas de mortalidad de los árboles que aún se encuentran en pie en las costas de los Brazos Rico, Sur y Lago Roca del Lago Argentino. Estos fechados se agrupan alrededor de los años 1936 y 1953, coincidentes con los registros históricos para el primer evento de inundación y los de mayor envergadura durante el siglo XX, respectivamente. De igual manera, las fechas de establecimiento de los árboles muertos en pie en las orillas de los Brazos Rico y Sur denotaron un período libre de inundaciones por más de dos siglos antes del primer evento de endicamiento del año 1936, implicando que el Glaciar Perito Moreno fue más extenso durante el siglo XX que en los dos siglos anteriores.

Asimismo, se documentó la colonización por parte de los renovales de *Nothofagus spp* y *Embothrium coccineum* de las costas inundadas por el endicamiento del año 1988, el que alcanzó una altura de 21 m cercana a la máxima histórica registrada en 1956 de 23.5 m. Se registró el establecimiento de nuevos individuos de renovales de árboles en los años siguientes a la ruptura, así también como el agrupamiento de los individuos de una misma especie, y de especies diferentes, por medio de análisis espaciales.

Los resultados de esta tesis han ubicado en un contexto histórico muy reciente a los eventos de endicamientos y rupturas del Glaciar Perito Moreno, sugiriendo que nuestras generaciones han tenido la suerte de presenciar uno de los espectáculos más sorprendentes de la naturaleza. Por otro lado, esta tesis contribuye directamente a ampliar el conocimiento general sobre dinámica de bosques en Patagonia Sur y aporta información que puede ser utilizada como herramientas de manejo para la protección de los bosques, componente inseparable del paisaje andino típico de la Patagonia.

Abstract

Glaciar Perito Moreno (hereafter GPM; 50°30'S and 72°50'W) is located in southern Patagonia, Santa Cruz province, Argentina. In its terminal portion is surrounded by *Nothofagus* forests, dominated by three species: *N. betuloides* Mirb. Blume; *N. pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser and *N. antarctica* (G. Foster. Oerst). The glacier is a main outlet from the Southern Patagonian Ice Field and extends down slope reaching Lago Argentino. GPM has been advancing or remained stable during the 20th century.

The successive advances of the glacier across the Canal de los Témpanos form natural ice dams which blocks the flow of water from the Brazo Sur and Rico arms to Lago Argentino. The water accumulated upstream from the dam violently breaks the front of the glacier producing a glacier-outburst-flow event locally known as “rupturas”. The water suddenly drains reaching the Atlantic Ocean by Río Santa Cruz.

Floodings of the Brazo Sur and Rico shorelines by ice-dam formations have killed thousands of *Nothofagus* trees. Disturbances affecting the Andean Patagonian forests are of different magnitude and duration and associated both with natural or anthropic causes. Floodings of Brazo Rico and Sur arms by GPM can be framed within the theory of disturbance. Disturbances of *Nothofagus* forests in the study area are characterized by large spatial-scale inundations resulting in the total replacement of previous-established forest stands.

In this context, the main objective of this doctoral dissertation is to evaluate the response of the Patagonian forests to the disturbances generated by episodic floodings by GPM. Tree rings from large standing trees killed by floods provide useful information to evaluate the forest dynamics in response to flood events. Rates of seedling recruitment on the flooded coasts could also be analyzed using tree rings.

By using environmental history methodologies such as comparison between old and present photographs, text analyses and semi-structured interviews to key people, a detailed history of damming events of GPM was developed. These documents also indicate that during the first years of the 20th century, the Brazo Rico and Sur shorelines were completely covered by *Nothofagus* forest until the regular or normal level of the lake. These observations suggest that no impoundment events by

GPM, associated with the death of trees in the coasts, occurred before early 20th century.

On the other hand, mortality dates from dead standing trees along the Brazo Sur and Rico shorelines were determined by cross-dating against local chronologies. Dates of tree death from all eight sampling sites are arranged around two periods of abundant tree mortality, centered in 1936 and 1953, coincident with the first and the largest ice-damming events inferred from documentary sources. Ages from the dead-standing trees on the Brazo Rico and Sur shorelines indicate the occurrence of a period without ice-impoundments longer than two centuries before the first flooding event of 1936. This means that GPM was less extensive in the 1700s and 1800s than it is today.

We also documented seedling recruitment of *Nothofagus spp.* and *Embothrium coccineum* on the flooded coasts in relation to the 1988 ice-damming event. At that time, the water reached 21 m high, close to the historical maximum of 23.5 m for the year 1956.

The establishment of new individuals of forest species in the years following the break, as well as the grouping of individuals of the same species, and different species, through spatial analysis was recorded. Seedling establishment on the bare shorelines started one to three years following the ice-damming break. Spatial analyses were used to characterize the distribution patterns of the seedlings on the shores based on single and multiple species arrangements.

The results of this thesis have situated the recent impoundments and “rupturas” of GPM in a long-term historical context, suggesting that our generations have been fortunate to witness one of the most amazing spectacles of nature. In addition, this dissertation contributes to our knowledge of forest dynamics in Southern Patagonia and provides useful information to be used as management tools for forest conservation.

Agradecimientos

Quisiera agradecer enormemente a mi director Dr. Ricardo Villalba, por guiarme y aconsejarme en todos los pasos del desarrollo de esta tesis. Pero sobre todo por brindarme la extraordinaria calidez humana que lo caracteriza.

A mi co-directora Dra. Graciela Tello por su asistencia y acompañamiento en la programación de las actividades relacionadas con el doctorado, y por brindarme su amistad y su casa en Río Gallegos.

Gracias al excelente grupo de amigos, investigadores y becarios del Ianigla – CCT – Conicet – Mendoza por hacer tan llevaderas mis estadías de invierno en la “tierra del sol y del buen vino”.

Un millón de gracias al Dr. Mariano Amoroso por su ayuda incondicional en el análisis de datos, redacción de tesis y publicación de artículo científico. De igual modo gracias al Dr. Facundo Rojas por la lectura y corrección del capítulo II y activa participación en la publicación del artículo científico relacionado.

Muchísimas gracias a mis compañeras de oficina Ana Srur y Valeria Aschero por los mates compartidos (amargos y bien dulces, respectivamente). Millones de gracias a todos los que me ayudaron en el Laboratorio de Dendrocronología en Mendoza: Dra. Ana Srur, Dra. Milagros Rodríguez Catón, Dr. Ignacio Mundo, Dr. Mariano Amoroso, Dr. Lido López. Gracias a Alberto Ripalta y su buen humor por estar en todos lados, especialmente en las largas jornadas de campo. Muchas fueron las personas que me acompañaron al campo, (aquí debo abrir un paréntesis y agradecer también al maravilloso Glaciar Perito Moreno quien aportó con su natural belleza a atraer voluntariosos ayudantes de campo): Nacho Mundo, Mariano Amoroso, Ana Srur, Lidio López, Juan Álvarez, Pablo Villagra, Mariano Morales, Gualberto, Damián Fernández, Pepe Hernández, José Giordano, Martín Herrero, Graciela Tello, Mabel Morán, Wilson Salvat y Victor Morales (y seguramente la lista es incompleta).

Un especial agradecimiento a Brian Luckman, Samuel Nussbaumer y Mariano Masiokas por la detallada lectura y comentarios que aportaron para mejorar el manuscrito de mi primer publicación científica.

Gracias a las personas que aceptaron ser entrevistadas en El Calafate, en Río Gallegos, en las estancias y compartieron sus vivencias sobre aquellas épocas de caminos de ripio, largos inviernos y crecidas del lago.

Gracias de todo corazón a mi madre por apoyar mis decisiones y alentarme a realizar el doctorado. Gracias a Josefina, a Lise y a Lis por ayudarme a mantener la calma. Gracias a Marianita y familia (Juan Cruz, Jere, Stephano y Martín) por albergarme en Mendoza entre mudanza y mudanza. Gracias a quienes me brindaron alojamiento: Mariano, Ana, Pierre, Clarita. Gracias a mis amigos calafateños y de otros lugares por acompañarme en todo momento y a la distancia.

Gracias a DPF por compartir gran parte de este difícil proceso de doctorado. Gracias por tu paciencia y especialmente por ayudarme a transitar este camino estando cerca y lejos.

También quisiera agradecer a las instituciones: a la Agencia Nacional de Promoción Ciencia y Tecnológica (ANPCyT) y a la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Río Turbio (UNPA-UART) por otorgarme la beca de doctorado. A la Administración de Parques Nacionales por brindarme los permisos necesarios para muestrear en el Parque Nacional Los Glaciares. Al IANIGLA del CCT-Conicet-Mendoza, por brindarme espacio físico y permitirme utilizar el equipamiento del laboratorio de Dendrocronología. Al Inter – American Institute for Global Change Research (IAI) y a los proyectos PICT 00215 de ANPCyT; CRN02-47 de CONICET y PIP 112-2011010-0809 por financiar las tareas de campo. Al Instituto de Botánica Darwinion (<http://www.darwin.edu.ar>), al Servicio Meteorológico Nacional (<http://www.smn.gov.ar>) y a la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (<http://www.hidricosargentina.gov.ar>).

Muchísimas gracias a Hielo y Aventura S.A. por brindarnos generosamente apoyo logístico en los cruces de los Brazo Sur y Rico del Lago Argentino.

Tabla de Contenidos

Resumen.....	I
Abstract.....	III
Agradecimientos.....	V
Tabla de Contenidos.....	VII
1. Introducción General.....	1
1.1 Marco teórico.....	2
1.1.1 Disturbios y dinámica de bosques.....	2
1.1.2 Disturbios en los bosques de Patagonia.....	4
1.1.3 Efectos de inundaciones periódicas sobre la dinámica de bosques.....	8
1.2 Planteamiento del problema.....	9
1.3 Hipótesis.....	11
1.4 Objetivo General.....	13
1.4.1 Objetivos Específicos.....	13
1.5 Organización de la Tesis.....	14
1.6 Área de estudio.....	14
1.6.1 Ambiente físico del área del Glaciar Perito Moreno, Parque Nacional Los Glaciares.....	14
1.6.2 Características del clima y suelo.....	16
1.7 Los bosques de <i>Nothofagus</i> en el sur de Patagonia.....	19
1.8 Antecedentes de investigaciones realizadas en el área del Glaciar Perito Moreno y Parque Nacional Los Glaciares.....	23
1.9 Literatura citada.....	25
2. Los endicamientos e inundaciones del Glaciar Perito Moreno, durante el siglo XX, a partir de documentos históricos y la visión de los pobladores locales.....	33
2.1 Introducción.....	34
2.2 Materiales y Métodos.....	35
2.3 Resultados.....	39
2.3.1 Los nombres del Glaciar Perito Moreno a lo largo del tiempo.....	39
2.3.2 Cambios en la posición del frente del Glaciar Perito Moreno.....	41
2.3.3 Eventos de rupturas del Glaciar Perito Moreno.....	45
2.3.4 Contribuciones de naturalistas y botánicos.....	53
2.3.5 Los embalses del Lago Roca, Brazos Rico y Sur del Lago Argentino.....	55
2.3.6 Las inundaciones y la percepción de la gente.....	60
2.4 Discusión.....	64
2.5 Bibliografía.....	67
3. Historia de los endicamientos producidos por el Glaciar Perito Moreno: una aproximación dendrocronológica.....	72
3.1 Introducción.....	73
3.2 Materiales y Métodos.....	75
3.2.1 Área de estudio y colección de muestras.....	75
3.2.2 Procesamiento dendrocronológico de las muestras de barreno de incremento y desarrollo de cronologías de ancho de anillos para <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>N. betuloides</i>	80
3.2.3 Procesamiento dendrocronológico de las secciones transversales y determinación de fechas de mortalidad.....	82
3.3 Resultados.....	84
3.3.1 Características de las cronologías de ancho de anillos de <i>N. pumilio</i> y <i>N. betuloides</i>	84
3.3.2 Fechado de árboles muertos <i>in situ</i>	87

3.3.3 Reconstrucción de eventos de endicamientos.....	95
3.4 Discusión.....	99
3.5 Bibliografía.....	102
4. Recolonización del bosque en las costas lacustres afectadas por las inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno.....	107
4.1 Introducción.....	108
4.2 Métodos.....	112
4.2.1 Área de estudio y parcelas de muestreo.....	112
4.2.2 Colección y procesamiento dendrocronológico de muestras y determinación de las fechas de establecimiento y mortalidad.....	116
4.2.3 Análisis de la información.....	117
4.3 Resultados.....	120
4.3.1 Estructura y composición de las parcelas de muestreo.....	120
4.3.2 Patrones temporales de establecimiento.....	126
4.3.3 Patrones espaciales de distribución.....	130
4.4 Discusión.....	146
4.5 Bibliografía.....	153
5. Discusión General.....	158
5.1 Discusión General.....	158
5.2 Resultados integrados y contrastación de hipótesis.....	159
5.3 Interrogantes pendientes para investigaciones futuras.....	163
5.4 Bibliografía	165
Anexos	
Tabla 1 Archivos consultados.....	166
Tabla 2 Entrevistas a pobladores rurales.....	166
Modelo de entrevistas.....	167
Tabla 3 Rupturas y nivel del agua.....	169
Imágenes Antiguas del Glaciar Perito Moreno.....	170
Mapas y gráficos antiguos del Glaciar Perito Moreno.....	177
Trabajo científico de respaldo.....	182

Capítulo I

Introducción General

*Espejo, el lago;
agitador de nubes
hoy no has venido
CG*



Foto: Vanesa Haines

Glaciar Perito Moreno

Contenidos

1.1 Marco teórico

1.1.1 Disturbios y dinámica de bosques

1.1.2 Disturbios en los bosques de Patagonia

1.1.3 Efectos de inundaciones periódicas sobre la dinámica de bosques

1.2 Planteamiento del problema

1.3 Hipótesis

1.4 Objetivo General

1.4.1 Objetivos Específicos

1.5 Organización de la Tesis

1.6 Área de estudio

1.6.1 Ambiente físico del área del Glaciar Perito Moreno, Parque Nacional Los Glaciares

1.6.2 Características del clima y suelo

1.7 Los bosques de *Nothofagus* en el sur de Patagonia

1.8 Antecedentes de investigaciones realizadas en el área del Glaciar Perito Moreno y Parque Nacional Los Glaciares

1.9 Literatura citada

1.1 Marco Teórico

1.1.1 Disturbios y dinámica de bosques

Un disturbio según Sousa (1984) se define como la muerte, desplazamiento o daño puntual y discreto de uno o más individuos (o comunidades) que directa o indirectamente crean oportunidades de establecimiento para nuevos individuos (o comunidades). Los disturbios tienen un profundo efecto sobre el desarrollo de los bosques al eliminar árboles y hasta, a veces, toda la vegetación existente en un lugar, generando espacio para el crecimiento de otros individuos o comunidades (*growing space* de acuerdo a Oliver y Larson (1996)). Según estos autores la composición de los bosques en la mayoría de los lugares del mundo está fuertemente influenciada por los disturbios, ya que éstos, sean naturales y/o antrópicos, ocurren en la mayoría de los bosques a escala global. La magnitud, frecuencia y dominancia de los disturbios en los bosques ha despertado el interés de la comunidad científica durante las últimas décadas (Picket y White 1985; Oliver y Larson 1996; Veblen y Kitzberger 2005). Por lo tanto, existe un creciente interés en documentar el efecto de los disturbios recurrentes en la estructuración de las comunidades vegetales y en el paisaje regional (White 1979; Picket y White 1985; Turner 1987; White y Jentsch 2001)

Tradicionalmente, los disturbios han sido concebidos como los mecanismos que alteran la marcha sucesional de la vegetación hacia el equilibrio (Drury y Nisbet 1973; Picket y White 1985). La teoría sucesional clásica de Clements (1916) adhería al paradigma de equilibrio al asumir que toda comunidad progresaba invariablemente a una composición estable y en equilibrio con el clima regional. En contraposición a esta teoría, Gleason (1939) advertía que los disturbios eran fuertes determinantes de las comunidades de plantas y que éstas no tenían una dirección definida en el proceso sucesional. Las explicaciones contemporáneas de la dinámica de la vegetación asignan un papel importante a los procesos estocásticos y quasi-estocásticos de disturbio y de dispersión, a los gradientes de recursos, las fluctuaciones ambientales, las interacciones biológicas

y las características de historia de vida de las especies (Drury y Nisbet 1971, 1973; Glenn – Lewin, Peet y Veblen 1992).

Según Pickett y White (1985), los disturbios en bosques pueden ser clasificados teniendo en cuenta los siguientes parámetros: la frecuencia; la magnitud; la intensidad y/o severidad; el tamaño del área disturbada; la distribución espacial; el intervalo de retorno entre los eventos (inversa a la frecuencia); el período de rotación (tiempo requerido para disturbar un área equivalente al tamaño del área analizada) y la predictibilidad.

Según la cantidad de árboles del dosel removidos, los disturbios pueden separarse en disturbios severos, aquellos que afectan la mayoría de los árboles existentes del lugar, y menores para referirse a aquellos que dejan algunos de los árboles existentes previos al disturbio. Luego de un disturbio de tipo “severo o de reemplazo total del rodal” se inicia una nueva cohorte, que en ausencia de nuevos disturbios, seguiría los siguientes estadios (Oliver 1981): a) Iniciación del rodal: nuevos individuos y especies aparecen, es el establecimiento de una nueva cohorte. b) Exclusión de fustes: luego de varios años no hay aparición de nuevos individuos y algunos comienzan a morir como consecuencia del autoraleo. Los sobrevivientes crecen en tamaño (altura y diámetro), una u otras especies pueden dominar el rodal. c) Reiniciación del sotobosque: facilitado por aperturas en el dosel, hierbas, arbustos y renovales aparecen en el sotobosque. d) Madurez: en este estadio tardío, algunos árboles del dosel mueren en forma irregular y la regeneración bajo claros producidos por caídas da lugar a estructuras disetáneas y rodales estructuralmente heterogéneos.

La regeneración post-disturbio, teniendo en cuenta el grado de severidad con que han sido afectados la vegetación y el suelo, puede ocurrir debido a diversos mecanismos sexuales o asexuales de reproducción que varían según las especies, el vigor de la vegetación post-disturbio y la época del año en que ocurrió el disturbio (Oliver 1981). Entre estos factores tenemos, por ejemplo, la invasión de semillas diseminadas por el viento, animales y/o el agua; semillas en dormancia; rebrotes de raíces donde el crecimiento se inicia inmediatamente después del disturbio, generando un árbol más rápidamente que si germinara de semilla; rebrote de tocones y/o regeneración avanzada cuando bajo el dosel de un bosque existen

renovales que pasan a ocupar el estrato dominante cuando éste ha sido removido por disturbios.

1.1.2 Disturbios en los bosques de Patagonia

La visión de inestabilidad en la vegetación es la que ha guiado gran parte del desarrollo del conocimiento actual de la dinámica de bosques. Korup y Clague (2009) han recopilado, a nivel mundial, bibliografía relevante sobre eventos extremos y desastres naturales como modeladores del paisaje y la vegetación en ambientes de montaña. A nivel regional en los Andes del Sur, los siguientes autores tratan esta temática (Veblen *et al.* 1981, 1996; Donoso 1993; Veblen y Kitzberger 2005)

Los bosques en los Andes patagónicos experimentan periódicamente disturbios de diferente magnitud y duración asociados tanto a causas naturales como antrópicas. Estos disturbios generan respuestas de la vegetación que determinan las características del paisaje. Los patrones de desarrollo de rodales en los bosques de *Nothofagus* en particular, resultan de disturbios de gran escala que originan el reemplazo de todo el rodal, así como también, de la caída de árboles individuales, a través de una dinámica de claros de pequeña escala (Heinemann, Kitzberger y Veblen 2000). Las técnicas dendrocronológicas han probado ser una herramienta muy útil para efectuar el fechado de eventos pasados de mortalidad y las series de crecimiento radial de anillos de árboles constituyen verdaderos bancos de datos naturales que contienen información ecológica e histórica de largo plazo (Kitzberger, Veblen y Villalba 2000). Complementariamente el uso de fuentes documentales históricas (primarias y secundarias) resulta ser una técnica bien establecida en la reconstrucción de procesos ambientales a partir del método histórico (Camus Gayan 2001; Zarrilli 2002; Worster 1988).

A continuación se detallan algunos ejemplos seleccionados entre un importante cúmulo de información, tanto de Argentina como de Chile, acerca del efecto de diversos disturbios sobre la dinámica de los bosques patagónicos desde su distribución norte hasta Tierra del Fuego.

Sismos: La respuesta de los bosques andinos patagónicos a eventos de origen tectónico ha sido documentada en la región del Lago Traful en individuos de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Blume (coihue) y *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Sern. et Bizarri) (ciprés de la cordillera) (Kitzberger, Veblen y Villalba 1995). El análisis de los patrones de incremento en los anillos de los árboles permitió evaluar el efecto sobre el crecimiento del terremoto de 1960 en Valdivia, Chile. Utilizando además la información proveniente de fotografías aéreas antiguas, se identificaron bosques mixtos de estas especies que crecían con buen estado sanitario sobre los abanicos aluviales hacia fines de la década de 1940. En la actualidad se observa sobre estos abanicos manchones de bosques con individuos muertos en pie como consecuencia de los movimientos en el suelo, y la consiguiente ruptura del sistema radicular de los árboles, producto del sismo de 1960.

Erupciones volcánicas: Pollmann (2003) detectó un incremento en el ancho de los anillos de crecimiento en *Nothofagus alpina* (Poepp. Et Endl.) Oerst. (raulí) posteriormente a una gran erupción del volcán Llaima en Chile alrededor del año 1640, seguido luego por una marcada caída en el crecimiento entre los años 1730 y 1850. Este autor postuló que los cambios en el crecimiento radial se dan por una marcada interacción a escala local y moderada entre el disturbio causado por erupciones y la apertura del dosel. *N. alpina* toma ventaja para crecer al producirse una apertura en el dosel por efecto de las cenizas, similar a las aperturas producidas por volteos de viento y caídas por decaimiento. Previamente, Veblen y Ashton (1978) habían postulado que disturbios periódicos por vulcanismo contribuyen a la regeneración en los bosques mixtos de *Nothofagus* en el centro – sur de Chile.

Deslizamientos de laderas: El terremoto de Valdivia del año 1960 produjo grandes movimientos de suelo en las laderas con bosques, generando avalanchas de detritos y deslizamientos de suelo y barro. Veblen y Ashton (1978) realizaron un exhaustivo trabajo posterior a este evento describiendo detalladamente la estructura y composición del bosque en los sitios afectados por este disturbio.

Fuego: La reconstrucción de la historia del fuego en bosques abiertos de *A. chilensis* en el Norte de Patagonia se desarrolló a partir de cronologías basadas en el fechado de cicatrices dejadas por el fuego en los anillos de crecimiento

(Kitzberger y Veblen 1997). Los resultados de estos estudios permitieron establecer cambios temporales y patrones espaciales de sincronía indicativos de fuegos que afectaron a la región. En otro trabajo fechando cicatrices de fuego en 458 árboles en 21 sitios en el bosque lluvioso de *Fitzroya cupressoides* (Mol.) Johnst. (alerce) y en bosque xérico de *A. chilensis* en el Norte de Patagonia se examinaron los efectos de la actividad humana y variación climática en la historia del fuego (Veblen *et al.* 1999). También en bosques de *F. cupressoides* en la Cordillera Pelada, Chile Lara *et al.* (1999) reconstruyeron la historia del fuego y su dinámica, determinando que el fuego ha sido un disturbio importante en estos bosques al menos en los últimos 600 años.

Avalanchas de nieve: Mundo, Barrera y Roig (2007) fecharon una avalancha ocurrida en el año 1976 en el valle Martial en Tierra del Fuego. Utilizando técnicas dendrocronológicas pudieron detectar las cicatrices de los árboles afectados por este disturbio y los cambios producidos en los patrones de crecimiento radial. Por otro lado, Casteller, Villalba y Mayer (2009) y Casteller *et al.* (2011) reconstruyeron la ocurrencia de avalanchas en 11 senderos ubicados en la Loma de las Pizarras en El Chaltén y en 9 senderos en el Lago del Desierto, Santa Cruz utilizando las mismas técnicas dendrocronológicas. Estos autores muestran que las avalanchas de nieve constituyen un disturbio común en los bosques de altura de *Nothofagus pumilio* (Poepp. y Endl.) Krasser (lenga).

Viento: En bosques de *N. pumilio* de Tierra del Fuego es común encontrar, claros extensos con numerosos troncos caídos mostrando una alta direccionalidad, lo que permite deducir que se trata de eventos de volteo por fuertes vientos. Por ejemplo, Rebertus, Kitzberger y Veblen (1997) fecharon un episodio de volteos por viento ocurrido en el año 1977 en el cerro Yakush, Tierra del Fuego.

Sequías: Villalba y Veblen (1998) determinaron la existencia de tres eventos masivos de mortalidad en *A. chilensis* en el Norte de la Patagonia, ocurridos alrededor de los años 1912-13, 1942-43, 1956-57. Por medio del cofechado de troncos muertos de *A. chilensis* con cronologías de esta misma especie próximas a los sitios de muestreo, los autores identificaron que estos eventos de mortandad ocurrieron en respuesta a las tres sequías estivales más extremas registradas en esa zona durante el siglo XX. Posteriormente, en 1998 – 1999, se registró también

en el Norte de Patagonia una sequía igualmente severa, coincidente con un fuerte evento La Niña que causó alta mortalidad en bosques de *Nothofagus dombeyi*, árbol dominante en los sectores más húmedos del Parque Nacional Nahuel Huapi (Suarez, Ghermandi y Kitzberger 2004; Suarez 2009). Para determinar la relación entre la mortalidad de *N. dombeyi* y el clima, los autores compararon las características del crecimiento radial de los árboles muertos y los sobrevivientes, por medio de análisis dendroecológicos.

Ataques de insectos: Las defoliaciones masivas en bosques de *N. pumilio* por ataques de larvas del lepidóptero *Ormiscodes amphimone* Fabricius han sido documentados empleando una combinación de imágenes satelitales y anillos de árboles (Paritsis, Veblen y Kitzberger 2009). Cientos de hectáreas fueron afectadas durante la estación de crecimiento tanto en el norte como el sur de la Patagonia, particularmente en las últimas décadas del siglo XX y comienzos del siglo XXI. Si bien estos eventos no suelen producir mortandad directa de árboles en el bosque, favorecen el decaimiento de las masas afectadas. Evidencias de una marcada reducción en el crecimiento de los anillos por efecto de la defoliación ha sido registrado en varios de los bosques atacados del Sur de Patagonia (Morales y Villalba 2009).

Decaimiento forestal: Los bosques de *A. chilensis* en Argentina experimentan mortalidad conocida como “el mal del ciprés” en gran parte de su área de distribución. Amoroso (2009); Amoroso y Larson (2010) estudiaron la dinámica de los bosques afectados por este proceso en 12 rodales de la provincia de Río Negro en el Norte de la Patagonia. Empleando técnicas dendrocronológicas reconstruyeron el establecimiento, la estructura del rodal y determinaron los cambios en los patrones de crecimiento radial a través del tiempo. Los autores encontraron que la mortalidad aparece en distintos momentos en diferentes rodales desde el inicio de la década de los 40 hasta la década de los 70. La mayoría de los árboles murieron en un período de 30 – 40 años siguiendo a la reducción en el crecimiento y en promedio las mayores mortandades se dieron en los períodos de 1976 – 1985 y 1986 y 1995. Luego de la mortalidad de los ejemplares del dosel, se registró el establecimiento exitoso de árboles en el sotobosque y liberación en la mayoría de los individuos no afectados (Amoroso y Larson 2010). Por otro lado

Relva, Nuñez y Simberloff (2009) identificaron en el Norte de la isla Victoria, Parque Nacional Nahuel Huapi, la historia más larga y continua de mortalidad provocada por el “mal del ciprés” con fechas de muerte y liberación comenzando en 1950, picos en la década de 1970 y extendiéndose a 1980. Junto a otros sitios en la Isla, estos rodales afectados por el “mal” proveyeron el registro de más larga duración y mayor severidad, con subsecuente volteos por viento (Relva, Nuñez y Simberloff 2009).

Herbivoría: Relva, Nuñez y Simberloff (2009) trabajando en sectores vecinos de la Isla Victoria, establecieron las relaciones entre la composición del sotobosque de *A. chilensis* en 15 parcelas y el uso dado por ciervos teniendo en cuenta la cantidad de individuos muertos, cuya fecha de mortalidad fueron establecidas por técnicas dendrocronológicas. Por medio de análisis de regresión múltiple encontraron que el uso dado por los ciervos está positivamente correlacionado con la historia de mortalidad del rodal, cuanto más antigua la mortalidad más fuerte es el uso dado por los ciervos. Los troncos caídos con alta densidad de ramas limitan el acceso a micrositios creando, de esta manera, clausuras naturales que permiten el establecimiento y crecimiento de plantas palatables (Relva, Nuñez y Simberloff 2009).

1.1.3 Efectos de inundaciones periódicas sobre la dinámica de bosques

Trabajos geobotánicos clásicos sobre inundaciones provocadas por ríos realizados por Sigafos (1964) en el Potomac River, cerca de Washington D.C., han destacado la importancia de la evidencia botánica para documentar este tipo de eventos. Si bien una inundación puede matar árboles que crecen por sobre el nivel normal del río, no todos los árboles mueren y aparece nuevos rebrotes o ramas sobre las cicatrices de las ramas quebradas o troncos inclinados. Estos procesos permiten contar los anillos de crecimiento anuales posteriores al daño y por ende fechar el evento. Sigafos y Hendricks (1972) identificaron y fecharon canales de inundación entre complejos de morenas por debajo de tres glaciares, conociendo la edad de los árboles que crecen sobre las morenas. A ambos lados del río Carbon, cerca del Glaciar Carbon, estos autores fecharon canales de inundación que se produjeron entre los años 1901 y 1907. Basados en el conteo de los anillos de

crecimiento, Sigafos y Hendricks (1972) determinaron canales de escorrentía glacial de tres edades diferentes que atravesaron las morenas del Glaciar Emmons antes de los años 1865, 1871 y 1917.

En otras regiones del mundo existen investigaciones más recientes que documentan los efectos de inundaciones en bosques. Por ejemplo en Chile Armesto, Casassa y Dollenz (1992) han documentado la presencia de inundaciones recurrentes en las márgenes del río Pingo, en el Parque Nacional Torres del Paine. En Polonia Zielonka, Holeksa y Ciapała (2008) han realizado trabajos en bosques de montañas donde fuertes lluvias de verano o el derretimiento de la nieve inunda periódicamente las márgenes del valle del río Dolina Waksmundzka. Trabajos similares realizó Meyer (2001) en Estados Unidos. Asimismo, se han fechado cicatrices en los árboles producidas por troncos a la deriva, como indicadores de estadios máximos de inundaciones en ríos de la Columbia Británica (Gottesfeld 1996) o por trozos de hielo suelto en Canadá (Langlais y Bégin 1993). Sin embargo, no hay al día de la fecha estudios sobre los efectos de inundaciones en bosques provocadas por endicamientos de glaciares.

1.2 Planteamiento del problema

El Glaciar Perito Moreno ha experimentado, desde principios del siglo XX, sucesivos avances en su parte frontal (Heim 1951; Raffo, Colqui y Madejski 1953). En algunos de los eventos de avance el glaciar provocó, al chocar el cuerpo de hielo con la península de Magallanes, el endicamiento de las aguas contenidas en el sector sur del Lago Argentino. El aumento del nivel del agua del lago inunda las costas circundantes cubiertas de bosques de *Nothofagus*. Los eventos de endicamiento del glaciar culminan con espectaculares rupturas de su pared frontal, permitiendo que el agua embalsada por períodos de algunos meses a pocos años drene rápidamente y siga su curso normal hacia el océano Atlántico. Debido a este comportamiento, el Glaciar Perito Moreno es único en cuanto a su dinámica (Mercer 1968; Clapperton 1993) y pareciera, además, haber permanecido relativamente estable durante el siglo XX, en contraposición a la fuerte retracción documentada en

la mayoría de los glaciares del Campo de Hielo Patagónico Sur (Aniya y Skvarca 1992; Skvarca y Naruse 1997).

Los embalses ocasionados por el cierre del Moreno producen inundaciones periódicas en el bosque que afectan profundamente su dinámica generando disturbios de “gran escala”. Las primeras inundaciones documentadas a principios de la década de 1930 (Heim 1951; Raffo, Colqui y Madejski 1953) provocaron la muerte de miles de árboles de grandes dimensiones que crecían en las costas de los Brazos Sur y Rico del Lago Argentino, como así también, en las costas del Lago Roca conectado a través del Brazo Rico con este último. Estas inundaciones afectaron también el modo de vida de las personas que habitaban las inmediaciones de las costas mencionadas.

La recurrencia de los eventos de endicamientos producidos por el Glaciar Perito Moreno ha quedado grabada en los recuerdos de las personas, en documentos históricos y en los enormes troncos de árboles muertos que aún permanecen en pie en las costas inundadas. El paisaje por ende generado, es único en la Patagonia. Asimismo, luego de cada inundación innumerables renovales de *Nothofagus* y especies arbustivas y herbáceas colonizan las costas lacustres. La franja costera está formada por un sustrato de gravas y arenas lavadas por las inundaciones, entrecortadas por afloramientos rocosos esporádicos. Sobre este basamento, la recolonización de la vegetación se presenta en parches aislados intercalada por áreas de pastizales, suelo desnudo y/o roca.

Los troncos muertos en pie y los árboles jóvenes encierran valiosa información en sus anillos de crecimiento acerca de la historia de estos disturbios. Por otro lado, los documentos históricos, tanto imágenes como escritos, aportan evidencia certera de los sucesos ocurridos en el pasado.

Los endicamientos más recientes provocados por el glaciar ocurridos en los años 2003-2004, 2005-2006, 2007-2008 y 2011-2012 proveen excelentes oportunidades para evaluar algunas hipótesis sobre la respuesta del bosque a las inundaciones, información imposible de rescatar de las inundaciones más antiguas, debido al deterioro del material leñoso y la desaparición de algunas evidencias con el paso del tiempo. Por ejemplo, el aumento progresivo del nivel de las aguas determinó tiempos diferentes de inundación para los árboles creciendo a distintas

alturas con relación al nivel original de las aguas. De esta manera los eventos recientes nos permitirán analizar la tolerancia de las especies de *Nothofagus* a las inundaciones.

Dado este contexto, el objetivo principal del presente plan de doctorado consiste en reconstruir, a partir de documentos históricos, las fluctuaciones, endicamientos y rupturas del Glaciar Perito Moreno; a la vez de contrastar esta información con los archivos paleo-ambientales provistos por los anillos de crecimiento de los árboles. Por otro lado, este conjunto de información histórica nos permite evaluar la respuesta de la vegetación a los procesos episódicos de inundación provocados por el Glaciar Perito Moreno.

La relevancia y originalidad de este trabajo, en relación a los paradigmas actuales de dinámica de bosques, radica en que poco se ha estudiado sobre el efecto de las inundaciones y las respuestas del bosque patagónico ante este tipo de disturbio. ¿Podemos incluir las inundaciones provocadas por endicamientos de glaciares como otro tipo de disturbio recurrente sobre los bosques de *Nothofagus* en los Andes Patagónicos? Asimismo, este estudio rescata el análisis de los cambios ambientales siguiendo los lineamientos de la historia ambiental como una aplicación poco empleada en el Sur de la Patagonia.

1.3 Hipótesis

Se plantea como hipótesis general de trabajo que la estructura de la vegetación en las costas sujetas a inundaciones periódicas en el Lago Roca y los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino, responde al régimen de disturbio predominante en el área dado por las inundaciones.

Se presentan a continuación las hipótesis de trabajo y sus respectivas predicciones:

Hipótesis A: En base a documentación histórica disponible para los últimos dos siglos, la primer ruptura del Glaciar Perito Moreno generada por un endicamiento de las aguas ocurrió en el año 1936, por ello, asumimos que a partir

de este momento se produjo la muerte de árboles que por cientos de años se habían desarrollado en las costas del los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino.

Predicción A1: Las edades máximas de los árboles muertos en pie en las cotas alcanzadas por la inundación de 1936 proveen evidencias del período libre de inundaciones previo a los endicamientos del siglo XX.

Hipótesis B: Los eventos de inundación de mayores dimensiones documentados ocurrieron en la década de 1950. Estos eventos produjeron incertidumbre en los pobladores que habitaban las costas al Sur del Glaciar Perito Moreno y provocaron la muerte de los árboles en las cotas más altas del lago, no alcanzada por inundaciones previas.

Predicción B1: La datación de las fechas de mortalidad de los árboles muertos en pie ubicados en las cotas más altas de las áreas inundadas por el agua debería ser consistente con la fecha del mayor evento de inundación.

Predicción B2: Los cambios en el ambiente generaron una percepción negativa en la población rural aledaña al Glaciar Perito Moreno e influenciaron en el cambio en la utilización de la tierra y posteriores cambios de propietarios.

Hipótesis C: Las inundaciones registradas entre 1936 y 1956, que alcanzaron cotas intermedias entre estos eventos, provocaron la muerte de distintas cohortes de árboles.

Predicción C1: La datación de los árboles ubicados en estos niveles intermedios de las costas proveerán información de base para complementar la cronología de los endicamientos.

Hipótesis D: El establecimiento de renovales en las costas del lago es posterior al endicamiento de 1988, donde el agua alcanzó una cota equivalente a la de 1956.

Predicción D1: La edad máxima de los renovales que crecen en las costas afectadas por la inundación de 1988 no deberá superar esta fecha.

Hipótesis E: El establecimiento de renovales en las costas del lago afectadas por inundaciones está influenciado además por otros factores como la precipitación total a lo largo del gradiente de humedad este-oeste donde se ubican estos ambientes, las variaciones en las condiciones de suelo, así como la presencia y/o ausencia de ganado, entre otros factores.

Predicción E1: El establecimiento, así como el hábito de crecimiento de renovales en los sectores de costa muestran los efectos del gradiente de precipitación, la diversidad del sustrato y la intensidad del pastoreo a través de cambios en las especies, la densidad del establecimiento, la estructura y distribución de renovales.

1.4 Objetivo General

El objetivo principal del presente plan de doctorado consiste en reconstruir la historia de los endicamientos del Glaciar Perito Moreno y evaluar la respuesta de la vegetación a los procesos episódicos de inundación provocados por el Glaciar Perito Moreno.

1.4.1 Objetivos específicos

a) Reconstruir la historia de los endicamientos, inundaciones y rupturas del Glaciar Perito Moreno a partir del enfoque provisto por la historia ambiental, desde finales del siglo XIX al presente.

b) Reconstruir la historia de los endicamientos y por ende, inundaciones del Glaciar Perito Moreno a partir de métodos dendrocronológicos.

c) Determinar la edad, establecimiento y mortalidad de los árboles muertos in situ por medio de métodos dendrocronológicos para evaluar la recurrencia de las inundaciones producidas por endicamientos del glaciar en el pasado.

d) Relacionar la reconstrucción histórica del comportamiento del Glaciar Perito Moreno con las evidencias ambientales encontradas en los árboles a partir de métodos dendrocronológicos.

e) Documentar los procesos de recolonización del bosque en las costas lacustres afectadas por las inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno. En base a la historia detallada de los endicamientos, su extensión temporal y espacial se podrá evaluar la dinámica del establecimiento de especies del género *Nothofagus* en las áreas afectadas por las inundaciones.

1.5 Organización de la tesis

El capítulo II trata sobre los endicamientos e inundaciones del Glaciar Perito Moreno, durante el siglo XX, reconstruidos a partir de documentos históricos y con el aporte de los pobladores locales. El capítulo III se refiere a la historia de los endicamientos producidos por el Glaciar Perito Moreno, desde una aproximación dendrocronológica. Trata del fechado por medio de técnicas dendrocronológicas de los árboles muertos *in situ* por las inundaciones y se evalúa la recurrencia de los endicamientos en el siglo XX y con anterioridad. El capítulo IV detalla los procesos de recolonización del bosque en las costas lacustres afectadas por las inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno. Finalmente, en el capítulo V se integran los resultados de los capítulos anteriores, se presenta una discusión general y las conclusiones de este estudio.

1.6 Área de estudio

1.6.1 Ambiente físico en el área del Glaciar Perito Moreno

El área de estudio se encuentra en el suroeste de la provincia de Santa Cruz en el Parque Nacional Los Glaciares. Comprende los bosques ubicados en las márgenes del Lago Roca y los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino, formando un polígono entre los 50° 25' de latitud S – 72° 43' de longitud O; 50° 28' S – 73° 02' O y 50° 40' S – 72° 58' O (Fig. 1).

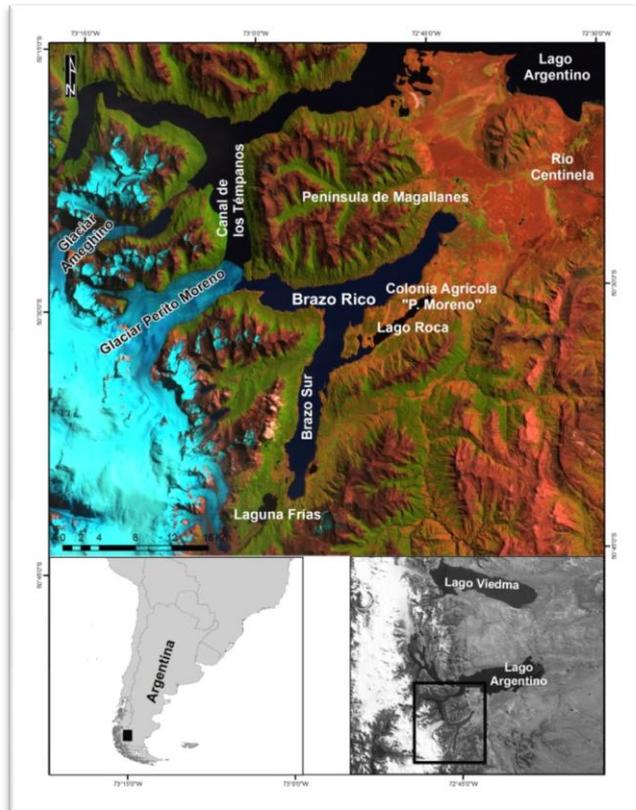


Figura 1. Área de estudio, sector Sur del Parque Nacional Los Glaciares y Reserva Provincial Península de Magallanes.

La Cordillera de Los Andes a esa latitud comprende dos dominios morfoestructurales principales: la región andina interna que incluye la faja plegada y corrida interna y el flanco andino oriental correspondiente a la región de retroarco o faja plegada externa (Kramer, Ploszkiewicz y Ramos 2002). La región andina interna posee alturas de más de 3000 m al oeste y se encuentra parcialmente cubierta de hielos perennes, mientras que la faja plegada y corrida externa está dominada por afloramientos cretácicos y es evidente una progresiva disminución de la intensidad de la deformación que pasa de corrimientos que involucran el basamento y la cubierta sedimentaria a suaves pliegues de gran longitud de onda (Kramer, Ploszkiewicz y Ramos 2002).

En la zona sur del Parque Nacional se ubica el Glaciar Perito Moreno que luego de recorrer 30 km desde las nacientes en el Campo de Hielo Patagónico Sur acaba, con su zona de ablación, en el Lago Argentino donde linda con bosques de

Nothofagus. El Lago Argentino de 1500 km² de superficie está conformado por una serie de brazos o canales hacia el oeste producto de la erosión glaciaria pleistocénica (Strelin y Malagnino 2000). Hacia el sur del Brazo Rico del Lago Argentino y Lago Roca las serranías corresponden al Cordón de los Cristales y hacia el N al cerro Buenos Aires. Las rocas aflorantes predominantes en estos cordones son sedimentitas de composición clástica fina con alternancia de pelitas y areniscas finas de color negro a gris oscuro; de ambiente marino, altamente plegadas pertenecientes a la Formación Cerro Toro del Cenomaniano (Cretácico Superior), mientras que en el valle del Glaciar Perito Moreno hacia el oeste las rocas son turbiditas de la misma formación (Nullo y Haller 2002). El Brazo Rico y el Lago Roca se encuentran sobre una amplia planicie a 185 msnm enmarcados hacia el este por un cierre de una morena terminal del Tardiglacial (16-10 ka AP) sobre la que se disponen bloques erráticos (Strelin y Malagnino 2000; Nullo y Haller 2002).

1.6.2 Características del clima y suelo en el área del Glaciar Perito Moreno

En altas latitudes al Sur de los 37° S, prevalecen vientos del oeste-suroeste durante todo el año, tanto sobre los océanos adyacentes como en el continente, en respuesta al marcado gradiente de presión desde la región subtropical a la polar (Villalba *et al.* 2003; Garreaud *et al.* 2009). El cinturón de los vientos del oeste es mayoritariamente simétrico en el Hemisferio Sur, debido a la ausencia de grandes masas de tierra al Sur de los 35° S (Prohaska 1976) y tiene un ciclo anual relativamente modesto (Nakamura y Shimpo 2004). En particular, en el extremo sur de América del Sur y en el océano Pacífico adyacente, los vientos del oeste son más fuertes durante el verano, sobre todo entre los 45° y 55° S. Durante el invierno, la corriente del jet en altura se mueve hacia latitudes subtropicales -su eje está localizado a los 30° S aprox.- y los vientos se expanden hacia el Ecuador volviéndose más suaves particularmente hacia los 50°S (Garreaud *et al.* 2009).

En cuanto a la precipitación en la región de estudio, esta exhibe una marcada asimetría zonal, con condiciones muy húmedas hacia el oeste y muy secas hacia el este de la Cordillera de los Andes. En esta región, la mayor parte de la lluvia está producida por nubes estratiformes que se desarrollan a lo largo de frentes cálido-

fríos (Garreaud *et al.* 2009). Estos sistemas frontales están asociados con los ciclones superficiales migratorios. Sin bien cada tormenta en latitudes medias exhibe una evolución única, tienden a concentrarse lo largo de una banda angosta latitudinal conocida como recorrido de tormentas (storm tracks: Trenberth 1991, Hoskins y Valdes 1990, Garreaud y Aceituno 2007), de los cuales su posición media sigue el nivel más alto de la corriente del jet de capas altas en la atmósfera. Por ello, esta banda latitudinal se expande hasta cerca de los 30° Sur en Chile central en invierno, y luego se retrae hacia el sur de los 40° Sur durante el verano.

Además de la precipitación por frentes, la elevación de vientos por sobre la ladera oeste de los Andes produce precipitaciones de tipo orográficas por enfriamiento adiabático -la precipitación continental es 2 a 3 veces mayor que los valores correspondientes en el océano- (Garreaud *et al.* 2009), alcanzando un máximo local de 8000 mm anuales en la zona del Campo de Hielo Patagónico Sur (Escobar *et al.* 1992; Carrasco, Casassa y Rivera 2003). En contraste, hacia el este de la Cordillera de los Andes las precipitaciones descienden a 1300 mm anuales en el glaciar para el período 1990 – 1997 (Skvarca 2002) y a tan sólo 50 km del cordón montañoso, en la estepa patagónica, las precipitaciones no superan los 200 - 250 mm anuales (Rosenblüth, Fuenzalida y Aceituno 1997; Carrasco, Casassa y Rivera 1998). En invierno, la precipitación se transforma en nieve por sobre los 600 msnm en el sector del extremo sur de los Andes. Los valles intermontanos se vuelven inaccesibles debido a la gran cantidad de nieve que se acumula en el oeste de la Cordillera (Villalba *et al.* 2003).

Las corrientes marinas que influyen en este sector del continente son de circulación Sur - Norte y de características frías. Por el Pacífico circula la Corriente de Humboldt, en tanto que por la costa Atlántica, lo hace la Corriente de las Malvinas (Miller 1976; Burgos 1985). Debido a la escasa extensión territorial en relación con las masas oceánicas que la rodean, la Patagonia, tiene un carácter insular que se refleja en el régimen térmico con poco contraste entre las temperaturas de verano e invierno (Burgos 1985). Por ejemplo en El Calafate a los 50.32° S y 72.26° O las medias mensuales de enero y junio son 13.2° C y 1.4° C, respectivamente (período 1956 – 2000). La nueva estación meteorológica ubicada en el aeropuerto a 25 km al este de la anterior (<http://www.smn.gov.ar>), arroja

valores medios de temperatura para enero y junio de 13.06° C y 0.2° C (período 2000-2009), respectivamente. Los datos de la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (<http://www.hidricosargentina.gov.ar>) también reportan 13.1° C para enero y 0.7° C para junio en las mismas coordenadas. La temperatura media de verano en el Glaciar Perito Moreno según la estación meteorológica ubicada a metros del glaciar en la margen sur es de 9.33 °C para el período 1996 – 2003, y la media anual 6.41 °C para el mismo período (Stuefer, Rott y Skvarca 2007).

En un análisis regional de las tendencias de la temperatura en Patagonia, basado en registros meteorológicos y datos proxy de anillos de árboles, Villalba *et al.* (2003) encuentran un claro patrón de calentamiento en el extremo sur de la Patagonia durante el siglo XX en un contexto de los últimos 400 años.

Las condiciones climáticas, la roca parental y la biota existente interactúan entre sí determinando los tipos de suelo que se desarrollan en el área de estudio. Según del Valle *et al.* (2002) y Scoppa (1998) en la península de Magallanes y al sur del Glaciar Perito Moreno por el faldeo oeste del Brazo Sur del Lago Argentino los suelos corresponden, de mayor a menor abundancia, a los siguientes órdenes: Molisoles, Entisoles, Andisoles y en menor medida Inceptisoles. Por otro lado, al sur del Brazo Rico del Lago Argentino y Lago Roca los suelos son Andisoles, Inceptisoles, Histosoles, Spodosoles y en menor medida Aridisoles.

El orden Spodosol es típico de Santa Cruz y Tierra del Fuego del distrito de bosques Magallánicos son suelos con características convergentes a los Andisoles, pero difieren en que no tiene alofán (mineralogía de materiales amorfos), los valores de aluminio son más altos y el pH es marcadamente ácido (Scoppa 1998; del Valle *et al.* 2002).

1.7 Los bosques de *Nothofagus* en el Sur de Patagonia



Figura 2. Bosque de Lengua (*N. pumilio*) en el Parque Nacional Los Glaciares.

La distribución de la vegetación en el extremo sur de Patagonia está fuertemente controlada por el marcado gradiente de precipitación (Moore 1983). Al este de la cordillera de los Andes, y en esta misma dirección, los bosques pasan de húmedos a másicos, terminando en la estepa patagónica xérica que se extiende hasta la costa Atlántica.

Biogeográficamente, los bosques de *Nothofagus* se encuentran en la provincia Subantártica (Cabrera 1976). *Nothofagus* es un género exclusivo del Hemisferio Sur que comprende 34 especies de las cuales 10 se encuentran en los

bosques de Argentina y Chile (www.darwin.edu.ar). Al Sur de Patagonia en la zona de estudio sólo tres especies de *Nothofagus* conforman los bosques, de los cuales *Nothofagus betuloides* Mirb. Blume (guindo o coihue de Magallanes) es siempreverde mientras que *Nothofagus antarctica* (G. Foster) Oerst. (ñire) y *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser (lenga) son decíduos (Moore 1983). Se distinguen las siguientes formaciones boscosas:

a) Bosques Subantárticos o Magallánicos húmedos: la pluviosidad es superior a los 1800 mm anuales (Roig *et al.* 1985; Roig 1998). Están representados por *Nothofagus betuloides* Mirb. Blume (guindo o coihue de Magallanes) y *Drymis winteri* J. R. Forst y G. Forst (canelo). El guindo en Argentina se extiende en forma discontinua desde los 46° 40' S por el Oeste de Santa Cruz hasta Cabo de Hornos (56° 30' S) e isla de Los Estados (Moore 1983) y en Chile desde Valdivia (40° 15' S) hasta Cabo de Hornos (Dollenz 1995). En cuanto a la estructura y componentes, estos bosques presentan un dosel de árboles de 20-30 m de altura con algunos troncos de hasta 1 m de diámetro y un segundo dosel con canelos de 8 -12 m de altura e individuos de menor tamaño (4 - 6 m) como *Raukua laetevirens* (Gay) Frodin (saúco del diablo) y *Embothrium coccineum* J. R. Forst y G. Forst (notro). Estas especies del estrato inferior son tolerantes a la sombra y tienen hojas más grandes que las hojas coriáceas y pequeñas del coihue. En el Parque Nacional Los Glaciares en el sector Oeste del Lago Argentino, estos bosques aparecen en las proximidades del Campo de Hielo Patagónico Sur.

El coihue de Magallanes posee hojas coriáceas con borde aserrado, la corteza es poco rugosa y grisácea, las flores masculinas son solitarias, con androceo de 10 – 16 estambres y las flores femeninas están dispuestas de a 3 protegidas por 4 brácteas.

b) Bosques Subantárticos o Magallánicos méxicos: la precipitación promedio es de 1000 mm anuales (Roig *et al.* 1985; Roig 1998) formados por bosques puros de *Nothofagus pumilio* (lenga). Esta especie se distribuye en Argentina y Chile a lo largo de 2200 km por los Andes en Patagonia, en Tierra del Fuego e isla de Los Estados, cubriendo más de 18 grados de latitud (González *et al.* 2006; Secretaría 2007). En cuanto a la estructura el bosque puro de lenga, en el área de estudio y en Tierra del Fuego, está formado por un único estrato de árboles que alcanzan los 8 -

20 m de altura con una marcada diferenciación de copas dentro del estrato. Este bosque forma el límite altitudinal, llegando en el área de estudio a los 900 msnm, altitud similar a la encontrada en Torres del Paine (Armesto, Casassa y Dollenz 1992). En esa altura los árboles crecen achaparrados en respuesta al peso de la nieve y la acción de los fuertes vientos (Aravena y Armesto 2002). El estrato arbustivo está formado por *Berberis microphylla* (calafate), *Gaultheria mucronata* (chaura), *Maytenus disticha* (leña dura), *Ribes magellanicum* (parrilla), y *Myoschilos oblongum* (codocoipu). La densidad de herbáceas varían según la mayor o menor disponibilidad de luz (Roig *et al.* 1985; Roig 1998).

Según el Primer Inventario Forestal Nacional (Secretaría 2007) en la provincia de Santa Cruz existen 156459 hectáreas de tierras forestales, de las cuales 138081 hectáreas son bosques de *Nothofagus pumilio* (lenga) y 58088 hectáreas están en áreas de Parques Nacionales. La lenga posee hojas con borde crenado, la corteza es muy rugosa en ejemplares adultos, las flores masculinas son solitarias, el androceo posee de 23 – 30 estambres, las flores femeninas también son solitarias y están protegidas por 2 brácteas. La lenga es una especie heliófita de tolerancia media (Rush 1992). Posee ciclos de regeneración por claros, por lo que es muy común encontrar abundante regeneración donde se ha caído algún árbol que permita la entrada de luz (Rebertus y Veblen 1993).

c) Bosques Subantárticos o Magallánicos secos: las precipitaciones medias van de los 600 y 1000 mm anuales (Roig *et al.* 1985; Roig 1998) y su mayor componente son los bosques de *Nothofagus antarctica* (ñire). Se distribuyen en Argentina y Chile desde el Norte de Patagonia (36° S) hasta Cabo de Hornos (56° S) y se encuentran en isla de Los Estados (Donoso 1993; González *et al.* 2006). En Santa Cruz los ñires se ubican preferentemente al pie de las laderas de las montañas o colinas suaves en contacto con la estepa hacia el este y con el bosque de lenga hacia el oeste. Estructuralmente presentan un único estrato con árboles de 5-6 m de altura con troncos muy retorcidos, generalmente abierto donde la luz penetra hasta el estrato herbáceo. El ñire se caracteriza por poseer plasticidad con capacidad de crecer en una gran diversidad de condiciones de sitio. Es resistente a estrés hídrico y también al exceso de agua como sucede en mallines y turberas (Moore 1983; Roig *et al.* 1985; Veblen *et al.* 1996). En algunos casos forma el límite

altitudinal del bosque con individuos achaparrados (Perez Moreau 1959; Pisano 1977). *Chilotrimum diffusum* (mata negra fueguina) y *Berberis microphylla* (calafate) son especies características del estrato arbustivo y en sitios con mayor humedad aparece *Ribes magellanicum* (parrilla) (Roig *et al.* 1985; Roig 1998).

Los bosques de ñire cubren en la provincia de Santa Cruz 99 000 hectáreas y sólo 744 hectáreas están protegidas en áreas de Parques Nacionales (Peri y Mondelos 2000). El ñire posee hojas con borde doblemente dentado, la corteza es rugosa a la madurez, las flores masculinas son solitarias o en grupos de 2 - 3, con androceo de 8 – 13 estambres y las flores femeninas se agrupan de a 3 protegidas por 4 brácteas.

d) Bosques Subantárticos o Magallánicos mixtos: en relación a la precipitación son bosques méxicos y mixtos por sus componentes. Están formados por una especie de follaje perenne, el coihue, y otra de hojas caducas, la lenga. Pisano (1977) observó que la distribución de los árboles en estos bosques está fuertemente influenciada por factores locales, principalmente de carácter edáfico. El drenaje y la disponibilidad de agua determinan la presencia de lenga o coihue a escala local. La lenga se encuentra en las partes de baja retención de agua y el bosque de coihue en las bases de los cerros más húmedos. En el área de estudio este bosque aparece al oeste del Brazo Sur del Lago Argentino.

e) Bosques de Ciprés de las Guaytecas: (*Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin) es de la familia de las Cupresáceas siendo la conífera más austral del mundo al distribuirse desde los 39° 35' S hasta los 55° 30' S ocupando una distancia latitudinal de 1600 km (Rovere, Premoli y Newton 2002; Rodríguez 2006). Crece en sitios muy húmedos como mallines y vegas, en rodales puros. En estos ambientes cenagosos el ciprés de las guaitecas está acompañado por comunidades formadas por musgos del género *Sphagnum* y plantas herbáceas como *Acaena pumila*, *Caltha sagittata*, *Astelia pumila*, *Bolax caespitosa*, *Gleichenia quadripartita*, *Marsippospermum grandiflorum*, *Myrteola nummularia* y *Perezia magellanica* (Moore 1983; Roig *et al.* 1985). En la zona de estudio hay un bosquecillo de ciprés de las guaitecas localizado al sur del río Camiseta en la margen oeste del Brazo Sur del Lago Argentino y está formado por árboles bajos de 3 -10 m.

1.8 Antecedentes de investigaciones realizadas en el área del Glaciar Perito Moreno y Parque Nacional Los Glaciares

La mayor parte de los trabajos relacionados con el Glaciar Perito Moreno están abocados a la glaciología y/o geología como enfoque de investigación. Entre ellas se encuentran los trabajos llevados adelante desde principios de los años 1990 por el Ing. Pedro Skvarca del Instituto Antártico Argentino, quien interactúa con equipos internacionales de glaciólogos de países tales como Japón, Austria, Estados Unidos y Chile (Rott *et al.* 1988; Skvarca y Naruse, 1997, 2005; Skvarca 2002; Rignot *et al.* 2003; Skvarca *et al.* 2004; Chinni y Warren 2004; Stuefer, Rott y Skvarca 2007; Pasquini y Depetris 2011). La literatura histórica referida al glaciar está citada y analizada en el capítulo II de esta tesis.

Depetris y Pasquini (2000) explicaron la relación existente entre la dinámica del Glaciar Perito Moreno, especialmente los cierres periódicos producidos por el glaciar, y teleconexiones climáticas tales como la ocurrencia de eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en el Pacífico tropical. Según estos autores los eventos El Niño desencadenan los avances de la lengua terminal del glaciar y tienen influencia en los endicamientos registrados (Depetris y Pasquini 2000). Por otro lado los mismos autores incorporan la Oscilación Antártica como forzante climática para explicar los últimos eventos de cierre y rupturas de los años 2004, 2006 y 2008 (Pasquini y Depetris 2011).

Aniya y Svkarca (2012) por medio de técnicas de carbono 14 fecharon la muerte de los árboles que se encuentran muertos en pie en la costa del Brazo Rico del Lago Argentino y determinaron que el glaciar experimentó avances durante la Pequeña Edad de Hielo, durante los años 1650 y 1800. Por lo cual para estos autores los árboles habrían muerto por inundaciones producidas entre esos años.

Por otro lado un vasto número de trabajos están siendo realizados sobre agentes de disturbio y las consecuencias en el desarrollo de la vegetación en bosques de *Nothofagus* de la zona Norte del Parque Nacional Los Glaciares, dentro del marco de investigación en variabilidad climática y dinámica de bosques que lleva adelante, desde fines de la década de 1990, el equipo del IANIGLA (Instituto

Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales) CCT – Mendoza.

<http://wiki.mendoza-conicet.gob.ar/ianigla>, <http://www.glaciares.org.ar>

1.9 Literatura citada

- Amoroso, M.M. (2009) Stand Development Patterns as a Consequence of the Decline in *Austrocedrus Chilensis* Forests. University of British Columbia, Vancouver.
- Amoroso, M.M. Larson, B.C. (2010) Stand development patterns as a consequence of the mortality in *Austrocedrus chilensis* forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 1981–1992.
- Aniya, M. Skvarca, P. (1992) Characteristics Upsala and Moreno. *Bulletin of Glacier Research*, 10, 39–53.
- Aniya, M. Skvarca, P. (2012) Little Ice Age advances of Glaciar Perito Moreno, Hielo Patagónico Sur, South America. *Bulletin of Glaciological Research*, 30, 1–8.
- Aravena, J.C. Armesto, J.J. (2002) Changes in tree species richness , stand structure and soil properties in a successional chronosequence in northern Chiloé Island , Chile. , 339–360.
- Armesto, J.J. Casassa, G. Dollenz, O. (1992) Age structure and dynamics of Patagonian beech forests in Torres del Paine National Park , Chile. *Vegetatio*, 98, 13–22.
- Burgos, J. (1985) Clima del extremo sur de Sudamérica. *Transecta Botánica de la Patagonia Austral*. (eds O. Boelcke, D.M. Moore y F.A. Roig), pp. 10 – 40. Buenos Aires, Santiago, Londres.
- Cabrera, A.L. (1976) Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería* p. 85. Acme, Buenos Aires.
- Camus Gayan, P. (2001) Perspectiva de la “Historia Ambiental”: Orígenes, definiciones y problemáticas. *Pensam. Crítico. Rev. Electrónica Hist.* 1, 1–27.
- Carrasco, J.F. Casassa, G. Rivera, A. (1998) Climatología actual del Campo de Hielo Sur y posibles cambios por el incremento del efecto invernadero. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 26, 119 – 128.
- Carrasco, J.F. Casassa, G. Rivera, A. (2003) Meteorological and climatological aspects of the Southern Patagonia Icefield. *The Patagonian Icefields: A Unique Natural Laboratory for Environmental and Climate Change Studies*. pp. 29–42. Centro de Estudios Científicos,, Valdivia.
- Casteller, A. Villalba, R. Araneo, D. Stöckli, V. (2011) Reconstructing temporal patterns of snow avalanches at Lago del Desierto, southern Patagonian Andes. *Cold Regions Science and Technology*, 67, 68–78.

- Casteller, A. Villalba, R. Mayer, A. (2009) Reconstrucción espacial y temporal de la ocurrencia de avalanchas de nieve en los Andes patagónicos utilizando técnicas dendrocronológicas. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82, 245–264.
- Clapperton, C.M. (1993) *Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Elsevier., Amsterdam.
- Clements, F.E. (1916) *Plant Succession, an Analysis of the Development of Vegetation*. Washington, Carnegie Institution of, Washington.
- Chinni, G. Warren, C. (2004) Correspondence. The 2004 outburst flood at Glaciar Perito Moreno, Argentina. *Journal of Glaciology* 50: 615–616.
- Del Valle, H.F. Bouza, P.J. Rial, P.A. González, L. (2002) *Suelos. Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino.*, Buenos Aires.
- Depetris, P.J. Pasquini, A.I. (2000) The hydrological signal of the Perito Moreno Glacier damming of Lake Argentino southern Andean Patagonia: the connection to climate anomalies. *Global and Planetary Change*, 26, 367–374.
- Dollenz, O. (1995) *Los árboles y bosques de Magallanes*. Ediciones Universidad de Magallanes.
- Donoso, C. (1993) *Bosques Templados de Chile y Argentina*. Editorial Universitaria, Santiago.
- Drury, W.H. Nisbet, I.C. (1971) Inter – relations between developmental models in geomorphology, plant ecology and animal ecology. *General Systems*, 16, 57 – 68.
- Drury, W.H. Nisbet, I.C. (1973) Succession. *Journal of the Arnold Arboretum*, 54, 331 – 368.
- Escobar, F. Vidal, F. Garin, F. Naruse, R. (1992) Water Balance in the Patagonia Icefield. *Glaciological Researches in Patagonia 1990*. Japanese Society of Snow and Ice., 109 – 119.
- Garreaud, R.D. Aceituno, P. (2007) Atmospheric circulation over South America: mean features and variability. In: Veblen, T. Young, K. Orme, A. (Eds.), *The Physical Geography of South America*. Oxford University Press, Oxford, pp. 45–66.
- Garreaud, R.D. Vuille, M. Compagnucci, R. Marengo, J. (2009) Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281, 180–195.
- Gleason, H.A. (1939) The individualistic concept of the plant association. *American Midland Naturalist*, 21, 92–110.

- Glenn – Lewin, D.C. Peet, R.K. Veblen, T.T. (1992) *Plant Succession: Theory and Prediction*. Chapman and Hall, London.
- González, M. Donoso, C. Ovalle, P. Martínez-Pastur, G. (2006) *Nothofagus pumilio* (Poep. Et Endl) Krasser. Lenga, roble blanco, leñar, roble de Tierra del Fuego. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia.
- Gottesfeld, A.S. (1996) British Columbia flood scars, maximum flood-stage indicators. *Geomorphology*, 14, 319–325.
- Heim, A. (1951) Informe sobre un estudio glaciológico en el Parque Nacional Los Glaciares. Administración general de Parques Nacionales. República Argentina, 15.
- Heinemann, K. Kitzberger, T. Veblen, T.T. (2000) Influences of gap microheterogeneity on the regeneration of *Nothofagus pumilio* in a xeric old-growth forest of northwestern Patagonia, Argentina. *Canadian Journal of Forest Research*, 30, 25–31.
- Hoskins, B.J. Valdes, P.J. (1990) On the existence of storm-tracks. *J. Atmos. Sci.* 47, 1854–1864.
- Kitzberger, T. Veblen, T.T. (1997) Influences of humans and ENSO on fire history of *Austrocedrus chilensis* woodlands in northern Patagonia, Argentina. *Écoscience*, 4, 508–520.
- Kitzberger, T. Veblen, T.T. Villalba, R. (1995) Tectonic influences on tree growth in northern Patagonia, Argentina: the roles of substrate stability and climatic variation. *Canadian Journal of Forest Research*, 25, 1684–1696.
- Kitzberger, T. Veblen, T.T. Villalba, R. (2000) Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. *Manual Latinoamericano de Dendrocronología*. (ed F. Roig), Editorial de la Universidad de Cuyo, Mendoza.
- Korup, O. Clague, J.J. (2009) Natural hazards, extreme events, and mountain topography. *Quaternary Science Reviews*, 28, 977–990.
- Kramer, P.E. Ploszkiewicz, J. V. Ramos, V.A. (2002) Estructura de la Cordillera Patagónica Austral entre los 46° y 52° S. *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*. pp. 353–364. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino., Buenos Aires.
- Langlais, D. Bégin, Y. (1993) The Effects of Recent Floods and Geomorphic Processes on Red Ash Populations, Upper St Lawrence Estuary, Québec.
- Lara, A. Fraver, S. Aravena, J.C. Wolodarsky, A. (1999) Fire and the dynamics of *Fitzroya cupressoides* (alerce) forests of Chile's Cordillera Pelada. *Ecoscience*, 6, 100–109.

Masiokas, M.H. Villalba, R. Luckman, B.H., Lascano, M.E. Delgado, S. Stepanek, P. (2008) 20th-century glacier recession and regional hydroclimatic changes in northwestern Patagonia. *Global and Planetary Change*, 60, 85–100.

Mercer, J.H. (1968) Variations of some Patagonian glaciers since the Late-Glacial. *American Journal of Science*, 266, 91–109.

Meyer, G.A. (2001) Recent large-magnitude floods and their impact on valley-floor environments of northeastern Yellowstone. *Geomorphology*, 40, 271–290.

Miller, A. (1976) The climate of Chile. *Climates of Central and South America*. World Survey of Climatology. pp. 113 – 146. Elsevier, Amsterdam.

Moore, D.M. (1983) *Flora of Tierra Del Fuego*. Anthony Nelson. England. Missouri Botanical Garden. USA, Oswestry, St Louis.

Morales, M.S. Villalba, R. (2009) Anillos de árboles como evidencias de ataques de insectos defoliadores en la Patagonia. *Bol. Soc. Ent. Argentina*, 20, 13–14.

Mundo, I.A. Barrera, M.D. Roig, F.A. (2007) Testing the utility of *Nothofagus pumilio* for dating a snow avalanche in Tierra del Fuego, Argentina. *Dendrochronologia*, 25, 19–28.

Nakamura, H. Shimpo, A. (2004) Seasonal variations in the Southern Hemisphere storm tracks and jet streams as revealed in a reanalysis data set, *J. Clim.*, 17, 1828–1844.

Nullo, F.E. Haller, M.J. (2002) *Guía de campo Lago Argentino y Glaciar Perito Moreno*. Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino.

Oliver, C.D. (1981) Forest Development in North America following major disturbances. *Forest Ecology and Management*, 3, 153–168.

Oliver, C.D. Larson, B.C. (1996) *Forest Stand Dynamics*. Jhon Wiley y Sons. Inc. USA.

Paritsis, J. Veblen, T.T. Kitzberger, T. (2009) Assessing dendroecological methods to reconstruct defoliator outbreaks on *Nothofagus pumilio* in northwestern Patagonia, Argentina. *Canadian Journal of Forest Research*, 39, 1617–1629.

Pasquini, A.I. Depetris, P.J. (2011) Southern Patagonia's Perito Moreno Glacier, Lake Argentino, and Santa Cruz River hydrological system: An overview. *Journal of Hydrology*, 405, 48–56.

Perez Moreau, R. (1959) *Reseña Botánica sobre el Lago Argentino*. Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico., 3, 58.

- Peri, P.L. Mondelos, M.H. (2000) Los bosques en Santa Cruz. El gran libro de Santa Cruz. (ed C.J. Godoy), pp. 233 – 258. Milenio Ediciones, Madrid.
- Pickett, S.T. White, P.S. (1985) The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Academic Press, New York.
- Pisano, E. (1977) Fitogeografía de Fuego-Patagonia chilena I: Comunidades vegetales entre las latitudes 52° y 56° S. Anales del Instituto de la Patagonia, 8, 121–250.
- Pollmann, W. (2003) Stand structure and dendroecology of an old-growth *Nothofagus* forest in Conguillio National Park, south Chile. *Forest Ecology and Management*, 176, 87–103.
- Prohaska, F. (1976) The Climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. *Climates of Central and South America. World Survey of Climatology*. pp. 13 – 112. Elsevier,, Amsterdam.
- Raffo, J.M. Colqui, B.S. Madejski, M.E. (1953) Glaciar Moreno. *Revista Meteoros. Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional.*, 3, 293–341.
- Rebertus, A. Kitzberger, T. Veblen, T.T. (1997) Blowdown history and landscape patterns in the Andes of Tierra del Fuego, Argentina. *Ecology*, 78, 678–692.
- Rebertus, A. Veblen, T.T. (1993) Structure and tree-fall gap dynamic of old-growth *Nothofagus* forest in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Vegetation Science*, 4, 641–654.
- Relva, M.A. Nuñez, M.A. Simberloff, D. (2009) Introduced deer reduce native plant cover and facilitate invasion of non-native tree species: evidence for invasional meltdown. *Biological Invasions*, 12, 303–311.
- Rignot, E. Rivera, A. Casassa, G. (2003) Contribution of the Patagonia Icefields of South America to sea level rise. *Science (New York, N.Y.)* 302: 434–437.
- Rodríguez, R. (2006) Flora arbórea de Chile. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. *Autoecología*. (ed C. Donoso), p. 408. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia.
- Roig, F.A. (1998) La vegetación de la Patagonia. *Flora Patagónica INTA*, Buenos Aires.
- Roig, F.A., Anchorena, J. Dollenz, O. Faggi, A.M. Méndez, E. (1985) Las comunidades vegetales de la Transecta Botánica de la Patagonia Austral. *Transecta Botánica de la Patagonia Austral* (eds O. Boelcke, D.M. Moore y F.A. Roig), Buenos Aires, Santiago, Londres.

- Rosenblüth, B. Fuenzalida, H. Aceituno, P. (1997) Recent temperate variations in southern South America. *International Journal of Climatology*, 17, 67 – 85.
- Rott, H. Stuefer, M. Rack, W. Skvarca, P. Eckstaller, A. (1988) Mass fluxes and dynamics of Moreno Glacier, Southern Patagonia Icefield. *Geophysical Res. Letters* 25: 1407–1410.
- Rovere, A. Premoli, A. Newton, A. (2002) Estado de conservación del Ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin) en Argentina. *Bosque*, 23, 11 – 19.
- Rush, V. (1992) Principales limitantes para la regeneración de la lenga en la zona NE de su área de distribución: variables ambientales de claros del bosque. *Publicación Técnica. CIEFAP.*, 8, 74 – 84.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (2007) Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos: Informe Regional Bosque Andino Patagónico -1° Ed.- Buenos Aires: Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 84 pp.
- Scoppa, C.O. (1998) *Los Suelos. Flora Patagónica*, INTA Buenos Aires.
- Sigafoos, R.S. (1964), Botanical evidence of floods and flood-plain deposition, U.S. *Geol. Surv. Prof. Pap. Rep. 485-A*, 35 pp.
- Sigafoos, R.S. Hendricks, E.L. (1972) Recent activity of glaciers of Mount Ranier, Washington: U. S. *Geol. Surv. Prof. Pap. Rep. 387-B*, 24 pp.
- Skvarca, P. (2002) Importancia de los glaciares del Hielo Patagónico Sur para el desarrollo regional. *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*. pp. 785–798. *Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino*, Buenos Aires.
- Skvarca, P. Naruse, R. (1997) Dynamic behavior of Glaciar Perito Moreno, southern Patagonia. *Annals of Glaciology*, 24, 268 – 271.
- Skvarca, P. Naruse, R. (2005) Correspondence. Overview of the ice-dam formation and collapse of Glaciar Perito Moreno, southern Patagonia. *Journal of Glaciology* 52: 318–320.
- Skvarca, P. Naruse, R. De Angelis, H. (2004) Recent thickening trend of Glacier Perito Moreno, southern Patagonia. *Bulletin of Glaciological Research* 21: 45–48.
- Sousa, W.P. (1984) The Role of Disturbance in Natural Communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15, 353–391.
- Strelin, J.A. Malagnino, E.C. (2000) Late-Glacial History of Lago Argentino, Argentina, and Age of the Puerto Bandera Moraines. *Quaternary Research*, 54, 339–347.

- Stuefer, M. Rott, H. Skvarca, P. (2007) Glaciar Perito Moreno, Patagonia: climate sensitivities and glacier characteristics preceding the 2003/04 and 2005/06 damming events. *Journal of Glaciology*, 53, 3–16.
- Suarez, M.L. (2009) Efecto de Las Fluctuaciones Climáticas Sobre La Dinámica de Bosques de *Nothofagus Dombeyi*, a Lo Largo de Un Gradiente Ambiental En El Norte de La Patagonia, Argentina. Universidad Nacional del Comahue, Bariloche.
- Suarez, M.L. Ghermandi, L. Kitzberger, T. (2004) Factors predisposing episodic drought-induced tree mortality in *Nothofagus* – site, climatic sensitivity and growth trends. *Journal of Ecology*, 92, 954–966.
- Trenberth, K.E. (1991) Storm tracks in the Southern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.* 48, 2159–2178.
- Turner, M.G. (1987) *Landscape Heterogeneity and Disturbance*. Springer – Verlag., New York.
- Veblen, T.T. Ashton, D.H. (1978) Catastrophic influences on the vegetation of the Valdivian Andes, Chile. *Vegetatio*, 36, 149–167.
- Veblen, T.T. Donoso, C. Kitzberger, T. Rebertus, A. (1996) *Ecology of Southern Chilean and Argentinean Nothofagus forest. The Ecology and Biogeography of Nothofagus forest*. Yale University Press, New Haven and London.
- Veblen, T.T. Donoso, C. Schlegel, F.M. Escobar, B.R. (1981) Forest dynamics in south central Chile. *Journal of Biogeography*, 8, 211 – 247.
- Veblen, T.T. Kitzberger, T. Villalba, R. Donnegan, J. (1999) *Fire History in Northern Patagonia: The Roles of Humans and Climatic Variation*.
- Veblen, T.T. Kitzberger, T. (2005) Nuevos paradigmas en ecología y su influencia sobre el conocimiento de la dinámica de los bosques del sur de Argentina y Chile. *Ecología y Manejo de bosques de Argentina* (eds M.F. Arturi, J.L. Frangi y J.F. Goya),.
- Villalba, R. Lara, A. Boninsegna, J.A. Masiokas, M. Delgado, S. Aravena, J.C. Roig, F.A. Schmelter, A. Wolodarsky, A. Ripalta, A. (2003) Large-scale temperatura changes across the Southern Andes 20th century variations in the context of the past 400 years. *Climatic Change*, 59, 177–232.
- Villalba, R. Veblen, T.T. (1998) Influences of large – scale climatic variability on episodic tree mortality at the forest – steppe ecotono in northern Patagonia. *Ecology*, 79, 2624 – 2640.
- White, P.S. (1979) Pattern, process and natural disturbance in vegetation. *Bot. Rev.*, 229 – 299.

White, P.S. Jentsch, A. (2001) The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamic. *Progress in Botany*, 62, 399 – 450.

Worster, D. (1988) *Doing Environmental History*. Cambridge University Press, Cambridge.

Zarrilli, A.G. Galafassi, G.P. (2002) *Ambiente, Sociedad y Naturaleza. Entre la teoría social y la historia*. Universidad Nacional de Quilmes, Quilmes, Buenos Aires.

Zielonka, T. Holeksa, J. Ciapała, S. (2008) A reconstruction of flood events using scarred trees in the Tatra Mountains, Poland. *Dendrochronologia*, 26, 173–183.

Capítulo II

Los endicamientos e inundaciones del Glaciar Perito Moreno, durante el siglo XX, a partir de documentos históricos y la visión de los pobladores locales.

*Azul cielo
en el agua del lago por la mañana
azul eterno
en el hielo que baja por las montañas*
CG



Cuadro pintado por Jorgensen, basado en la fotografía de Kölliker *et al.* (1917). Se encuentra en la biblioteca del Instituto de Botánica Darwinion, San Isidro, Buenos Aires.

Contenido

2.1 Introducción

2.2 Materiales y Métodos

2.3 Resultados

2.3.1 Los nombres del Glaciar Perito Moreno a lo largo del tiempo.

2.3.2 Cambios en la posición del frente del Glaciar Perito Moreno.

2.3.3 Eventos de rupturas del Glaciar Perito Moreno.

2.3.4 Contribuciones de naturalistas y botánicos.

2.3.5 Los embalses del Lago Roca, Brazos Rico y Sur del Lago Argentino.

2.3.6 Las inundaciones y la percepción de la gente.

2.4 Discusión

2.5 Bibliografía

2.1 Introducción

La historia referida al Glaciar Perito Moreno es abundante y se encuentra dispersa en diversas fuentes. Desde fines del siglo XIX hasta la actualidad¹, este glaciar ha sido y continúa siendo el más visitado de los glaciares que conforman el Campo de Hielo Patagónico Sur. El flujo de turistas en las últimas décadas varió entre 50000 a 80000 personas por año durante el período 1992 – 2001. Desde entonces, el número de turistas se incrementó hasta 400000 visitantes por año, de acuerdo a los datos de la Administración de Parques Nacionales.

Las primeras imágenes documentadas del frente del Moreno datan de 1899 - 1900 (Gallois 1901; Frontera Argentino - Chilena 1902; Prichard 1902; Hauthal 1904) (Figura 1). Razones para explicar por qué el Perito Moreno, es un atractivo mundialmente famoso podrían encontrarse en su accesibilidad, tanto por tierra como por vía lacustre; en que su frente se ha mantenido estacionario o ha experimentado avances desde principios del siglo XX (Raffo et al. 1953; Stuefer, 1999), y por último, debido a las espectaculares rupturas que produce el frente del Glaciar Perito Moreno. Estas rupturas devienen cuando, periódicamente, los sucesivos avances del glaciar (Skvarca 2002) provocan bloqueos en el paso del agua desde el cuerpo Sur hacia el Canal de Los Témpanos del Lago Argentino y los embalses desagotan violentamente el agua que se encontraba atrapada, literalmente rompiendo la pared central del frente del Glaciar Perito Moreno.

El objetivo general de este capítulo es reconstruir la historia de los endicamientos, inundaciones y rupturas del Glaciar Perito Moreno a partir del enfoque que nos ofrece la Historia Ambiental desde fines del siglo XIX-comienzos del siglo XX.

Las preguntas planteadas para este apartado fueron las siguientes: ¿Son los endicamientos y rupturas eventos recurrentes del Glaciar Perito Moreno?; ¿Son estos eventos procesos permanentes o limitados a los últimos 100 años? Si en base a la documentación histórica disponible, el primer cierre del glaciar ocurrió en el año 1917, asumimos que a partir de allí y no antes, se produjo la muerte de árboles que

¹ Estudios arqueológicos indican que la zona S del Lago Argentino estuvo ocupada por grupos humanos previamente a los tiempos históricos (Franco 2004; Franco y Aragón 2004; Mehl y Franco 2009)

por cientos de años se habrían desarrollado en los bordes del Lago Roca y Brazos Rico y Sur del Lago Argentino.

Por otro lado, los eventos de inundación de mayor dimensión documentados ocurrieron en la década de 1950, hecho que produjo incertidumbre en los pobladores que habitaban las costas al sur del Glaciar Perito Moreno, con lo cual nos preguntamos ¿Cómo han influenciado los cambios en el ambiente a la población rural aledaña al Perito Moreno en cuanto a la utilización de la tierra?

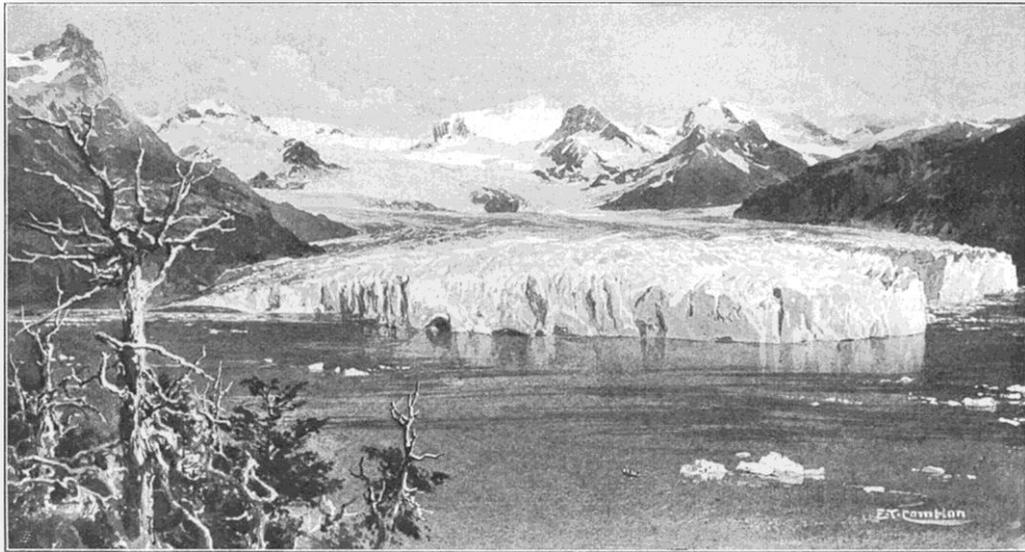


Figura 1. Primer pintura del Glaciar Perito Moreno realizada por Edward Compton en febrero 1899, publicada en Hauthal (1904).

2. 2 Materiales y Métodos

Para cumplir con el objetivo general planteado se utilizaron fuentes documentales históricas (primarias y secundarias) con el fin de reconstruir procesos ambientales a partir del método histórico. En particular el desarrollo de este capítulo se enmarcó dentro de los lineamientos dados por la historia ambiental. Un análisis historiográfico en profundidad sobre esta disciplina fue expuesto por diversos autores: (Camus Gayan 2001; Zarrilli 2002; Worster 1988, 2004, 2008; Brannstrom 2004; Gallini 2004, 2005) entre otros.

Estudios locales y de caso en Argentina fueron desarrollados utilizando la metodología de la historia ambiental, por ejemplo, Prieto et al. (1995) analizaron, para la región de Cuyo, el impacto de fenómenos climáticos adversos como heladas y granizo sobre la producción vitivinícola en un contexto histórico. Prieto y Abraham (1998) identificaron procesos de desertificación en el sur de Mendoza. Prieto et al. (2003) realizaron una descripción y comparación de la vegetación a lo largo de un camino real entre Mendoza y San Luis. Registros de nevadas en el paso cordillerano entre Argentina y Chile frente a Mendoza fueron analizados para el período 1885 y 1996 a partir de publicaciones periódicas y consensuadas con los registros de precipitaciones para el área (Gallego et al. 2008). En valles y bolsones de la Rioja y Catamarca, Rojas (2013) estudió procesos de deforestación y actividades productivas. En Patagonia, Mendes (2010) realizó un análisis de la complejidad ambiental y la sociedad desde una perspectiva histórica en los valles de El Bolsón. Por los Andes, fuera de los límites de Argentina hacia el norte, Gil Montero et al. (2010), reconstruyeron la ocupación humana del territorio en base a documentos parroquiales relacionando mortalidad poblacional con eventos severos de sequía registrados en los anillos de crecimiento *Polylepis tarapacana*, entre otros.

Las fuentes consultadas para realizar este trabajo fueron de diverso tipo, se tuvieron en cuenta relatos de naturalistas, exploradores y viajeros, investigaciones científicas, libros, periódicos y revistas, que contaran con registros tales como fotografías, dibujos, croquis y/o información descriptiva sobre el Glaciar Perito Moreno, durante los últimos siglos.

En el material bibliográfico consultado se buscaron variables tales como cambios en la posición del frente del Glaciar Perito Moreno, ocurrencia de eventos de ruptura del dique de hielo, cambios en los niveles del agua en el cuerpo Sur del Lago Argentino, cambios y evidencias en el uso del suelo circundante. Indicadores relevantes fueron aquellos que determinaban la distancia en metros de la posición del frente del glaciar con respecto a la Península de Magallanes, frecuencia de rupturas, mediciones de la altura del agua, o situaciones de inundaciones de viviendas aledañas. En cuanto a cambios en el uso de la tierra se evaluó el tipo de actividad realizada por los pobladores locales.

Las variables climáticas citadas en las fuentes consultadas no fueron analizadas debido a que no es el objetivo de este trabajo establecer relaciones entre el clima y la dinámica del Glaciar Perito Moreno. Además los intentos de establecer relaciones entre las fluctuaciones de este glaciar y el clima regional en perspectiva histórica han producido resultados variados y no consistentes (Masiokas et al. 2009).

Los archivos que se consultaron fueron los de: Biblioteca Nacional (biblioteca general, fototeca y mapoteca) y biblioteca del Instituto de Hielo Continental Patagónico, en Buenos Aires. La biblioteca SECEDOC – CCT – Conicet, (biblioteca y archivo fotográfico) y la biblioteca Arturo Corte del IANIGLA - CCT – Conicet, en Mendoza. La hemeroteca de la biblioteca “Hilarión Lenzi” del Centro Cultural de Río Gallegos, el Archivo Histórico de la Municipalidad de El Calafate, (biblioteca y archivo fotográfico) y la biblioteca “Perito Moreno” de la Intendencia del Parque Nacional Los Glaciares, en El Calafate. Se revisó, además, la base de datos histórica de biblioteca electrónica del Mincyt. En la seccional Glaciar Moreno del Parque Nacional Los Glaciares se revisaron los radiotelefonemas y libros de guardia (Tabla 1, Anexo).

La interpretación de las fuentes documentales se realizó con las herramientas de análisis de texto (Halliday² 1964,1978; Rojas 2013³). Para obtener información detallada de primera mano se realizaron veintitrés (23) entrevistas⁴ en profundidad, semi – estructuradas, con preguntas abiertas a personas consideradas claves para los objetivos de este trabajo, seleccionadas en una muestra dirigida no aleatoria. La metodología utilizada fue de tipo cualitativa e interpretativa proveniente de las

² Según la teoría del registro este autor distingue entre un contexto de cultura y un contexto de situación, en la producción de textos y discursos.

³ En esta tesis se siguen algunos lineamientos planteados por Rojas (2013): a) el significado del término en sí mismo (semántico); b) el significado del término o la frase en el contexto gramatical; c) el significado del término y la frase en el contexto de la obra consultada: científica, narrativa, literaria, periodística; d) el significado de acuerdo al momento histórico, lugar y cultura del autor; e) validación de la fuente en cuanto número y calidad de información científica y sistemática aportada; f) nivel de claridad, coherencia y consistencia en el texto analizado. g) nivel de coincidencia con otras fuentes orales, cartográficas, observación en campo, mediciones técnicas.

⁴ La guía de preguntas se adjunta en Anexo como Modelo Entrevistas.

ciencias sociales (Valles 1997; Vasilachis de Gialdino 1992, 2006; Marradi, Archenti y Piovani 2007).

Los entrevistados fueron seleccionados entre antiguos pobladores que habitaban la zona rural del Lago Argentino y guardaparques que estuvieron en la Seccional Moreno del Parque Nacional Los Glaciares. La elección de estas personas se realizó debido a que fueron testigos oculares de las crecidas de los lagos Roca, Brazos Rico y Sur del Lago Argentino provocadas por los sucesivos cierres que ocasionaba el frente del Glaciar Perito Moreno. Algunos presenciaron al glaciar durante algún evento de ruptura. Además de ver y hasta, a veces medir cómo iba creciendo el lago, estas personas debieron afrontar los inconvenientes e incertidumbre que significaba convivir con una costa del lago variable, que podía llegar hasta el borde de sus casas o incluso inundarlas. Las entrevistas se realizaron en forma presencial en El Calafate, en Río Gallegos, en estancias aledañas y algunas vía internet a los guardaparques que en la actualidad se encuentran en otros destinos (Tabla 2, Anexo).

Las fotografías históricas fueron ordenadas por fecha de captura (Anexo Imágenes Antiguas). De este cúmulo de fotografías se seleccionaron algunas imágenes tomadas por miembros de la Sociedad Científica Alemana en el año 1914 y por el padre salesiano Alberto de Agostini en 1928 y 1943, las cuales fueron replicadas y comparadas con tomas actuales. De esta manera se pudo visualizar la posición del frente del glaciar en una perspectiva diacrónica. Para realizar la réplica se siguieron los requerimientos planteados por Zumbühl y Holzhauser (1988) quienes indican que: a) la fecha de la fotografía o pintura deber ser conocida, b) que el glaciar y su entorno debe estar representado en un modo realístico y c) que la posición del artista/fotógrafo en el terreno debe ser conocida. Siguiendo estos lineamientos, siempre que fue posible, la réplica de las fotografías se realizó desde el sitio donde habría sido tomada la imagen original. En algunos casos hubo que esperar la época del año en la cual el glaciar se encuentra retirado de la costa (marzo, abril, mayo) debido a que a partir de mayo hasta octubre la parte central de la pared de hielo avanza y llega a tocar la Península de Magallanes, durante casi todo el verano, el glaciar está muy cerca del punto de exacto para la réplica fotográfica, lo cual implica un alto riesgo de desprendimientos de hielo en las zonas de interés.

2.3 Resultados

2.3.1 Los nombres del Glaciar Perito Moreno a lo largo del tiempo.

Hacia finales del siglo XIX y principios del siglo XX la zona que ocupa actualmente el Parque Nacional Los Glaciares había sido visitada por diversos naturalistas y científicos que describieron las características biogeográficas y ecológicas con diferente grado de profundidad (Moreno 1879; Skottsberg 1911; Haumann 1920). El glaciar fue bautizado con el nombre de “Perito Moreno” por el Teniente de fragata Alfredo R. Iglesias (1901 Pag. 83); (Hicken 1915).

[...] el Canal de los Témpanos, arranca en el Lago Argentino, desde Punta Bandera, lengua de tierra que proyecta el Monte Buenos Aires y termina en la Laguna Rica, casi frente a un gran ventisquero que cae de las montañas que forman el contrafuerte de la Cordillera en su parte oriental y al cual se le dio el nombre de “Glaciar Moreno”.

Anteriormente el Teniente de la armada chilena Tomas J. Rogers, a fines de diciembre de 1877, bautizó al glaciar con el nombre de Francisco Vidal. Rogers llegó hasta el frente del glaciar bordeando el Brazo Rico que denominó lago del Misterio (Rogers 1878 Pag. 50):

“Este riacho desemboca en el lago del Misterio que se halla a 7 millas al SO del lago Santa Cruz (Argentino) y que no es otro que el mismo que da una gran vuelta por entre cerros. Lo orillamos por el N hasta ver el gran ventisquero que denominé Francisco Vidal. El explorador Moreno dice que llegó hasta aquí, pero siendo así, nos sorprende no hable de las dos entradas que tiene el Lago al occidente. Quedamos, pues, convencidos que el Lago Misterio (Lago Rico), era tan sólo una parte del lago Santa Cruz (Argentino)”.

Este viaje se realizó a pedido del gobierno de Chile para explorar en más detalle las zonas relevadas por el perito argentino Francisco P. Moreno. En febrero de ese mismo año -1877- Francisco P. Moreno avanzó por el Canal de los Témpanos desde Punta Bandera, pero no llegó hasta el frente del glaciar. El día 15 de febrero bautizó al Lago Argentino con su célebre y bien conocida ceremonia (Moreno 1879). Por la misma época Rudolf Hauthal, geólogo y botánico alemán que trabajó para el Museo de La Plata, denominó al glaciar como Bismarckgletscher en

honor al Primer Ministro Prusiano que –los alemanes- consideran uno de sus mayores estadistas (Hauthal 1904 Pag. 31).

“Das ist der Bismarckgletscher, der in den westlichen, weit nach Süden sich erstreckenden Arm des Lago Argentino hinabsteigt. Eines der schönsten, prächtigsten Gletscherbilder, die ich je geschaut und das ich für immer mit dem Namen des gewaltigen deutsche Staatsmannes verknüpfen will”.

“Está el Glaciar Bismarck, que se vuelca en el Brazo Sur del Lago Argentino. Una de las imágenes más hermosas que he visto y el cual quiero anudar para siempre con el nombre del gran estadista alemán”.

Este nombre fue ampliamente utilizado en la cartografía y literatura de la primera mitad del siglo XX. Otra denominación que aparece dada por Prichard es “glaciar de Los Témpanos” no obstante la publicación está en inglés (Prichard, 1902 Pag. 192). Por otro lado Gallois (1901 Placa 27) se refirió al glaciar sin darle un nombre específico: “Front du Glacier du Lac Argentino”. “Frente del Glaciar del Lago Argentino”.

2.3.2 Cambios en la posición del frente del Glaciar Perito Moreno entre 1899 y 1936

La historia de la posición del frente del Glaciar Perito Moreno se inicia con el registro de las primeras observaciones realizadas por Hauthal en 1899, quien realizó mediciones y determinó que el frente del glaciar se encontraba a 750 m de distancia de la Península de Magallanes (Hauthal 1904)⁵ (Anexo Mapas y Gráficos). En la publicación de Hauthal se muestra una pintura del frente del glaciar del día 28 de febrero del año 1899 firmada por Edward T. Compton (Anexo Imágenes Antiguas). Un año después, en marzo de 1900, el mismo autor indica que la posición del frente había variado acercándose algunos metros en dirección a la península (Hauthal 1904). Del año 1901 existe una fotografía publicada por Gallois (1901) (Anexo Imágenes Antiguas) donde se observa el frente del Moreno prácticamente en la misma posición que en la imagen de Hauthal. Del mismo año hay cinco ilustraciones⁶ del Glaciar Perito Moreno en Prichard (1902) (Anexo Imágenes Antiguas).

Luego Quensel visitó el área en 1908 y parte de su relato fue incluido en el libro de la expedición sueca a los Andes de Patagonia, Quensel determinó que la abertura del canal frente al glaciar se habría reducido a unos 350 m⁷. En esta publicación la fotografía del glaciar figura con el nombre de Bismarck Glacier (Skottsberg 1911 Pag. 275).

Dos siglos atrás, llegar al frente del Glaciar Perito Moreno resultaba muy fácil en comparación con otros glaciares de la zona, se podía transitar por la costa Norte del Brazo Rico desde río Mitre o también era posible navegar el Canal de Los Témpanos o el Brazo Rico del Lago Argentino. Por ello, el Glaciar Perito Moreno fue uno de los glaciares más visitados y consecuentemente muy documentado durante la primera mitad del siglo XX.

Reichert (1917a) integrante de la expedición organizada por la Sociedad Científica Alemana, publicó un gráfico del frente del glaciar con las posiciones dadas por Hauthal en 1899 y 1900, por Quensel en 1908 e incorporó sus propias

⁵ En el año 1903 el Dr. Heim escuchó al Dr. Hauthal disertar sobre el Glaciar Perito Moreno en el Congreso Geológico Internacional de Viena (Heim 1951)

⁶ Ilustraciones realizadas por Jhon Gille Millais

⁷ Quensel no indicó cómo tomó la distancia al glaciar.

observaciones del mes de marzo del año 1914, donde ubicó el frente del glaciar a 100 m de distancia de la Península de Magallanes (Anexo Mapas y Gráficos). En la Figura 2 se comparan dos fotografías tomadas por miembros de la Sociedad Científica Alemana en 1914 y las respectivas fotografías actuales. Los integrantes de esta expedición, que realizaran el primer cruce transversal del Campo del Hielo Patagónico Sur ingresando por la margen Norte del Glaciar Perito Moreno, pronosticaron lo siguiente (Reichert 1917b Pag. 134):

“Suponiendo, pues, que el avance siga en la misma progresión, se calculan cinco años más hasta que el ventisquero cierre por completo el Canal Témpanos y corte las comunicaciones de este con los Brazos Rico y Sur”.

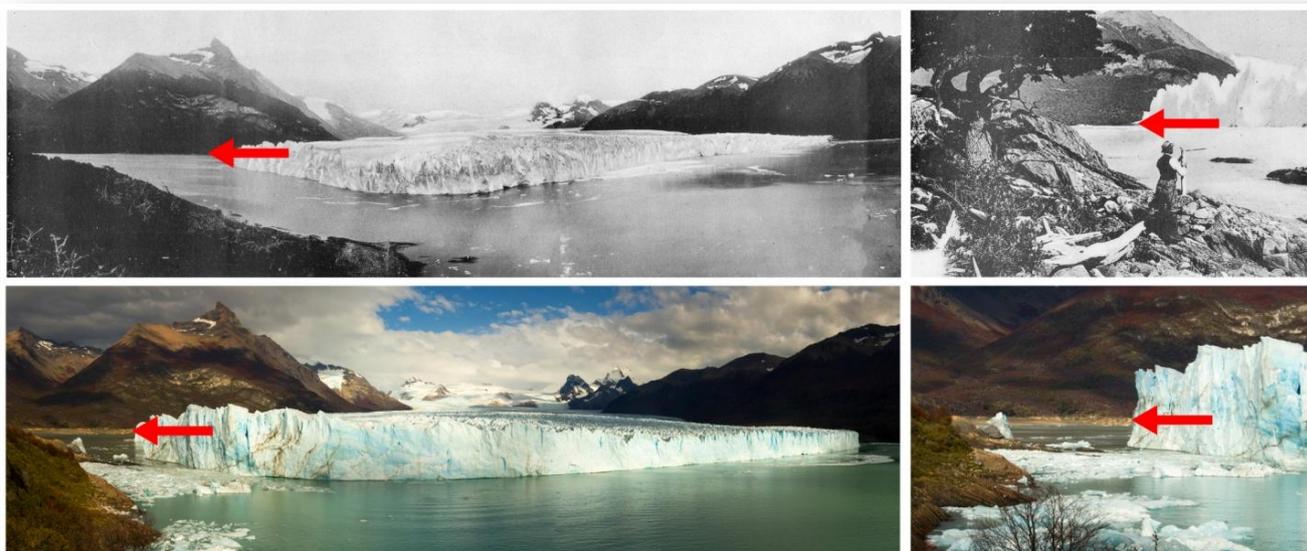


Figura 2. Comparación fotográfica: Arriba: panorama y estación de observación del Glaciar Perito Moreno en 1914 (Kölliker *et al.* 1917). Abajo: abril 2013 (Guerrido y Punta Fernández). Nótese la diferencia en la costa marcada con flechas rojas, con vegetación en 1914 y sin vegetación en 2013. Este tema se retomará en el apartado siguiente.

El primer cierre del Glaciar Perito Moreno que se tiene registro durante el siglo XX, sucedió durante el verano de 1917, dos años antes que lo previsto por los alemanes (de Agostini 1945 Pag. 140):

[...] en el verano de 1917 se vio obstruido el canal por la lengua del glaciar que había avanzado hasta alcanzar la orilla opuesta con un ancho de pocas decenas de metros, pero, al cabo de pocas semanas el canal volvió a abrirse”.

A partir de entonces, el hecho de que el Moreno mostrara un comportamiento de avance, al contrario del resto de los glaciares de la zona cordillera, provocó aun más interés para ser visitado por parte de la comunidad científica y exploradores.

En el verano del año 1928 el sacerdote italiano de Agostini visitó el glaciar y tomó una fotografía donde se observa la apertura del canal de conexión entre el Brazo Rico y Canal de los Témpanos reducida a 150-200 m aproximadamente (Feruglio 1944; de Agostini 1945) (Fig. 3). También realizó una descripción artística del glaciar: (de Agostini 1945 Pag.139):

“Esta imponente masa de cristal, deslumbrante en su níveo candor, de perláceos reflejos verdeazulados, desciende majestuosamente de la Cordillera como un inmenso río de hielo, completamente dentellado por gigantescos seracs comparables a las agujas y pináculos de una catedral gótica, que causan en el viajero una profunda sensación de estupor y asombro”.

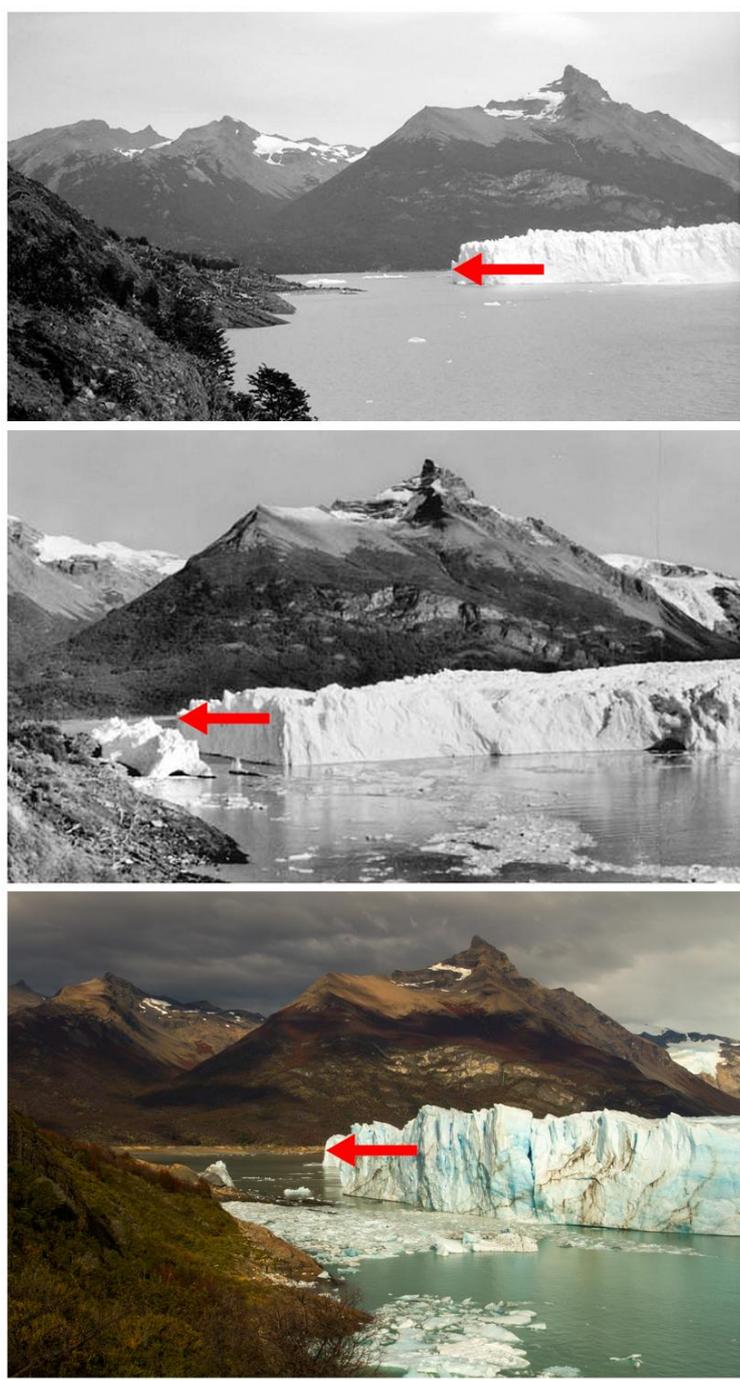


Figura. 3 Comparación fotográfica:
Arriba y centro: 1928 y 1943 respectivamente (de Agostini 2010).
Abajo: abril 2013 (Guerrido y Punta Fernández). Resaltado con flechas rojas se muestra la diferencia de las costas en cuanto a la vegetación.

De la misma época pero con fecha inexacta entre los años 1930 y 1934, Federico Kohlmann fotografió el glaciar donde se puede apreciar una distancia similar a la destacada por Feruglio entre el glaciar y la Península de Magallanes (Kohlmann 1930 – 1934) (Anexo Imágenes Antiguas).

En 1932 el frente del Moreno quedaba separado de la orilla del cerro Buenos Aires en la Península de Magallanes, mediante un canal algo más angosto que en

1928, pero todavía lo bastante ancho como para poder pasar por él con un bote (Feruglio 1944).

2.3.3 Eventos de rupturas del Glaciar Perito Moreno

Según el informe de Heim (1951) el frente del Glaciar Perito Moreno comenzó a avanzar desde la posición registrada por la fotografía de de Agostini en 1928 hasta alcanzar el pie del cerro Buenos Aires. Durante los veranos de 1934 y 1935 el glaciar obstruyó nuevamente el canal (Feruglio 1944; Heim 1951; Nichols y Miller 1952) y para el verano de 1936 se había quebrado el puente dejando un enorme bloque aislado de hielo sobre las rocas costeras (Fig. 4). En esta oportunidad el bloque de hielo que quedó separado del frente activo del glaciar determina una evidencia de la ocurrencia de un endicamiento (de Agostini 1937; Feruglio 1944; Heim 1951) (Fig. 4). Esto nos indica que entre el invierno de 1935 y el verano de 1936 se produjo el primer endicamiento de importancia y posteriormente la primer ruptura del frente del Glaciar Perito Moreno registrada en el siglo XX.



Figura 4. Fotografía tomada por el sacerdote de Agostini en el verano de 1936 con posterioridad al primer evento de ruptura (de Agostini 1937)

En marzo del año 1937 Feruglio (1944) efectuó un levantamiento del frente del glaciar sirviéndose de un telémetro de inversión y una brújula prismática, el canal entonces tenía un ancho de 50 m y el bloque de hielo dejado sobre la costa

del cerro Buenos Aires tenía 100 x 200 m. Este bloque de hielo muerto se correspondería con la ruptura del verano anterior (Anexo Imágenes Antiguas).

Desde 1937 el glaciar avanzó otra vez, de manera que en julio de 1939 el canal fue completamente obstruido (Feruglio 1944; Heim 1951; Nichols y Miller 1952; Heinsheimer 1954). El Ministerio de Obras Públicas envió a una comisión integrada por los geólogos Volpi y Grandi, quienes midieron la parte más avanzada del frente, hicieron un levantamiento taquimétrico del terreno y confeccionaron un croquis general de toda la lengua del glaciar (Volpi y Grandi 1940; Feruglio 1944). Según el croquis la lengua de hielo avanzó sobre el zócalo rocoso de la península hasta 10 m sobre el nivel del lago, cubriendo una zona de 300 m de largo y hasta 80 m de altura (Volpi y Grandi 1940; Feruglio 1944) (Anexo Mapas y Gráficos).

[...] en diciembre de 1939, debido a la mayor cantidad de precipitaciones habidas en la alta cordillera, el glaciar aumentó extraordinariamente de volumen y avanzó su frente hasta la otra orilla, en un ancho de casi 300 m, obstruyendo por completo el canal (de Agostini 1945 Pag. 139)

El 15 o 17 de febrero de 1940 el umbral de hielo se rompió repentinamente (Echeverría, entrevista N°1; Feruglio 1944; de Agostini 1945; Nichols y Miller 1952), produciéndose así la segunda ruptura documentada del frente del glaciar.

Al año siguiente, en 1941, el canal se volvió a cerrar (Echeverría, entrevista N° 1) y el día 20 de marzo de 1942 se produjo la tercer ruptura del frente del glaciar (Nichols y Miller 1952; Raffo et. al 1953; Echeverría, entrevista N° 1). Según Raffo (1953) la ruptura de la barrera de hielo se produjo el día 21 de marzo de acuerdo a datos de Parques Nacionales o bien el día 19 según los pobladores de la zona (Raffo 1953). Cualquiera de las fechas podría ser correcta ya que el proceso de ruptura dura aproximadamente entre dos a cuatro días, desde el momento que se inicia la filtración del agua desde el Brazo Rico hacia el Canal de Los Témpanos. El agua erosiona por debajo en la pared frontal del glaciar, generando el túnel de ruptura y por último se produce el colapso final del puente o techo del túnel.

La fotografía tomada por el sacerdote de Agostini de la “punta extrema del Ventisquero Moreno” de abril de 1943 es posterior al tercer evento de ruptura (Feruglio 1944; de Agostini 1945) (Fig. 3 y Anexo Imágenes Antiguas).

La siguiente observación del frente del Perito Moreno fue realizada por Heim (1951) quien en marzo de 1946 equipado con una brújula con nivel, metro y escala

milimetrada de un prismático Zeiss midió la pared frontal del glaciar en 60 m de altura sobre el nivel del agua y el bloque de hielo muerto en 60 m de largo por 24 m de altura. Determinó, además, la separación de la pared frontal del glaciar en 200 m con respecto a la Península de Magallanes (Anexo Imágenes Antiguas) (Anexo Mapas y Gráficos). Luego de realizar minuciosas investigaciones el geólogo postuló lo siguiente (Heim 1951 Pag. 8):

“Recordando que durante los últimos 500 – 1000 años el Ventisquero Moreno no se ha extendido más que en 1942, parece poco probable que lo hiciera en un futuro próximo”.

El pronóstico de Heim (1951) fue errado. El Moreno volvió a obstruir el Canal de Los Témpanos en 1947 (Raffo et. al 1953; Bertone 1972, 1997). Raffo (1953) indicó que el cierre no duró mucho tiempo y el 21 de noviembre de 1947 una comisión del Servicio Meteorológico Nacional constató la existencia del túnel (Anexo Imágenes Antiguas). Según Bertone (1972) en los primeros días de diciembre de 1947 el hielo comenzó a ceder socavando un túnel subglaciar con desagüe bifurcado. En este caso existe una diferencia de al menos 10 días para el inicio de la ruptura entre la información dada por Raffo (1953) y Bertone (1972), se trataría de la cuarta ruptura del Perito Moreno.

En abril de 1948 según un croquis de Raffo (1953) el Canal de los Témpanos estaba abierto unos 70 m aproximadamente (Anexo Mapas y Gráficos). En el verano de 1948 - 1949 se produjo otro cierre del frente del Glaciar Perito Moreno (Nichols y Miller 1952, Bertone 1972; Echeverría, entrevista N° 1). Luego de la ruptura en marzo de 1949, Nichols y Miller (1952) realizaron un croquis del frente del glaciar que se encontraba separado de la península (Anexo Mapas y Gráficos).

La Comisión del Servicio Meteorológico Nacional en el año 1950, observó un aumento considerable del espesor de la masa de hielo en toda la superficie de la lengua del Moreno y de los glaciares tributarios. En base a ello previeron un avance extraordinario para el año próximo, el cual se cumplió (Raffo et al. 1953).

El inicio de la apertura del canal se produjo el 2 de marzo del año 1952 a las 14:10 hs. (Raffo et al. 1953). El día 3 de marzo una comisión del Servicio Meteorológico Nacional percibió en el campamento situado a 1.5 km del frente del glaciar un fuerte movimiento vibratorio que duró unos 10 segundos, ocurrido 11 horas después de la apertura del túnel y 5 horas antes del colapso del túnel (Raffo

et al. 1953) (Anexo Imágenes Antiguas). Este evento fue presenciado por un niño de 12 años (Mario Echeverría Baleta) que acompañara a un grupo de arrieros a despuntar ovejas desde el glaciar hacia el campo Los Ventisqueros. Los mayores le habían encomendado, la tarea de quedarse último en el arreo y controlar que no se escaparan animales, pero al ver la caída de enormes bloques de hielo decidió quedarse a presenciar el espectáculo. (Echeverría M. entrevista N° 13). Se trataría entonces de la sexta ruptura del glaciar.

En agosto de ese mismo año 1952, el Glaciar Perito Moreno clausuró otra vez el Canal de los Témpanos (Raffo et al. 1953). Durante los días 30 y 31 de marzo de 1953 Heinsheimer y algunos amigos pudieron presenciar la rotura del dique glacial provocada por la presión de las masas acumuladas de agua (Heinsheimer 1954) (Anexo Imágenes Antiguas fotografías originales).

Posteriormente, el mismo autor, describió detalladamente un nuevo proceso de cierre del Moreno, previo a la ruptura de 1956 (Heinsheimer 1956 Pag. 327):

[...] Durante el mes de agosto de 1954 –unos 17 meses después de la destrucción del dique glacial ocurrida el día 30 de marzo de 1953 y la séptima vez en nuestro siglo- el glaciar Moreno obstruyó el Canal de los Témpanos. Con una mole espesa y considerablemente aumentada de hielo, el empuje/ del glaciar arreció. Por lo tanto el dique glacial pudo sobrepasar el fin del verano 1954/55.

En la Figura 5 se ilustra la apertura del Canal de Los Témpanos en relación a la Península de Magallanes, teniendo en cuenta la fluctuación del frente del Glaciar Perito Moreno para la primera mitad del siglo XX, según datos históricos.

Tres años más tarde, el 10 de febrero de 1966 volvió a suceder otro evento de ruptura (Mercer 1968; Liss 1970; Depetris y Pasquini 2000; Skvarca 2002). Mercer (1968) registró la posición del frente del glaciar en un croquis para febrero y abril de 1966 con el Glaciar Perito Moreno ubicado sobre la Península de Magallanes y después de la ruptura, respectivamente (Anexo Mapas y Gráficos). Mercer (1968), al igual que sus predecesores, realizó conjeturas acerca del comportamiento del Glaciar Perito Moreno y postuló que en caso que un embalse durara más de tres años el desagote del agua sería a través de la Bahía Catalana, como sucediera durante el Holoceno según fechados radiocarbónicos publicados en sus estudios (Mercer 1968). También relató que al momento de su visita, se estaba excavando un canal artificial en Bahía Catalana, para prevenir la pérdida de tierras de pastoreo y lo marcó en su gráfico. Este hecho lo mencionan, también, pobladores locales (Echeverría H., entrevista N° 7; Martín, entrevista N° 18). En la Figura 6 se destaca como en el 76 % de los casos, los eventos de rupturas sucedieron durante los meses de verano (febrero, marzo).

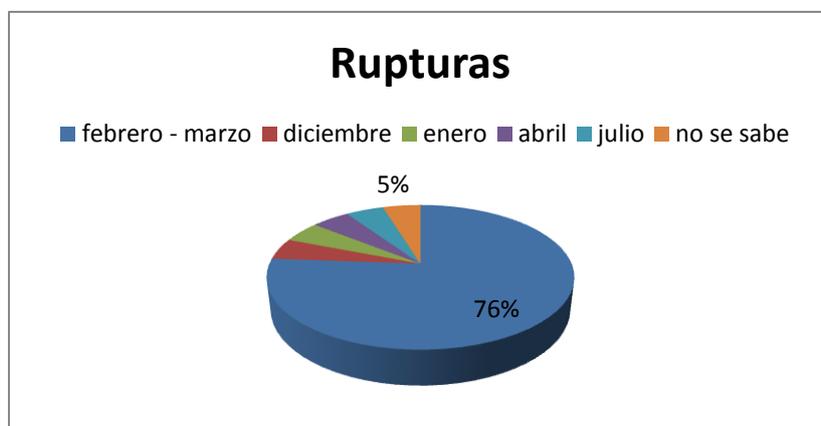


Figura 6. Rupturas del Glaciar Perito Moreno, porcentajes de ocurrencia según los meses.

Posteriormente se registró una ruptura del frente del Perito Moreno durante los primeros días de marzo de 1972 (Bertone 1972; Dimitri 1972; Depetris y Pasquini 2000; Skvarca 2002; Bellini, entrevista N° 13; Radiotelefonemas N° 54 y N° 55). Este evento fue registrado en el documental titulado “Ríos de Hielo” por el

cineasta Alberto Larran, quien filmó durante dos meses previos a la ruptura hasta que se produjo el colapso del túnel de hielo. En abril de 1974 el Moreno volvió a romper su frente (Depetris y Pasquini 2000; Bellini, entrevista N° 13; Radiotelefonema N° 34). Más recientemente, en 1978 el glaciar registró otra ruptura (Jannes, entrevista N° 8, observación personal).

En 1980 el Perito Moreno experimentó un evento de ruptura ocurrido en poco menos de 30 horas de duración, desde las 10:30 hs del 17 de febrero hasta las 15:10 hs del 18 de febrero (Depetris y Pasquini 2000; Skvarca 2002; Jannes entrevista N° 8; Mansilla entrevista N° 9; Bugnest entrevista N° 12; Libro de guardia Seccional Moreno). Posteriormente, en 1982, el guardaparque que estaba en la seccional Moreno, informó que el lago estaba alto pero el agua pasó por delante de la pared de hielo sin socavar un túnel sin producirse ruptura (Jannes, entrevista N° 8; observación personal).

El día 13 de enero de 1984 nuevamente rompió el frente del glaciar (Depetris y Pasquini 2000; Skvarca 2002; Jannes entrevista N° 8; Mansilla entrevista N° 9; Schupbach entrevista N° 11; Bugnet entrevista N° 12; observación personal).

En menos de un día, entre las 19:15 hs del 16 de febrero y las 16:30 hs del 17 febrero de 1988 se produjo la última ruptura registrada en la década de 1980. En esa oportunidad, la ruptura del frente del Glaciar Perito Moreno ocurrió ante una multitud de espectadores y medios de comunicación locales, nacionales e internacionales (Depetris y Pasquini 2000; Skvarca 2002; Bugnest entrevista N° 12; Libro de Guardia Seccional Moreno).

Posteriormente durante 16 años el Glaciar Perito Moreno permaneció en equilibrio sin registrar grandes avances y generar procesos de rupturas. Al final de cada invierno, el frente del glaciar tocaba la Península de Magallanes sin ejercer presión suficiente como para bloquear el paso del agua del Brazo Rico hacia el Canal de Los Témpanos. (Stuefer et al. 2007). Al no existir embalse no había ruptura y al promediar el verano se restablecía la conexión entre los dos brazos del Lago Argentino.

A partir de 1990 se iniciaron los trabajos sistemáticos de investigación del Glaciar Perito Moreno (Skvarca 2002). Según la comparación de las mediciones del período 1990-1996 con los datos de 1999, Skvarca indicó un ligero aumento en el nivel de la superficie con lo cual sugirió la posibilidad de futuros cierres y posteriores

rupturas de mantenerse esa tendencia (Skvarca 2002). Efectivamente en marzo del año 2004 el Moreno volvió a deslumbrar con otra espectacular ruptura (Pasquini y Depetris 2011; Bugnest, entrevista N° 12; observación personal). El guardaparque de la Seccional Moreno Fabián Bugnest fotografió el glaciar desde dos puntos fijos cada 15 días durante un año, desde el invierno de 2003 hasta el invierno de 2004 incluyendo la ruptura que tuvo inicio a las 19:00 hs del 11 de marzo hasta las 19:10 hs del 14 marzo de 2004 (Intendencia Parque Nacional Los Glaciares; Bugnest, entrevista N° 12). Durante tres días más de 10000 personas presenciaron el evento y medios de cobertura nacional e internacional estuvieron presentes.

Dos años después en 2006, del 9 al 13 marzo, el techo del túnel del Perito Moreno colapsó a las 22:55 hs (Intendencia Parque Nacional Los Glaciares; Pasquini y Depetris 2011; Bugnest, entrevista N° 12). En forma excepcional a lo largo de más de un siglo el glaciar rompió por primera vez en invierno, el día 9 de julio del año 2008 a las 11:20 de la mañana ante un número insignificante de espectadores (Intendencia Parque Nacional Los Glaciares; Pasquini y Depetris 2011). Por último el 3 de marzo de 2012 colapsó el techo del túnel del Perito Moreno a las 3:45 hs de la madrugada (Intendencia Parque Nacional Los Glaciares). En la Tabla 3 del Anexo, se enumeran todos los eventos de rupturas registrados hasta la actualidad.

2.3.4 Contribuciones de naturalistas y botánicos

Antes de abordar el tema de las inundaciones en sí mismas haremos referencia a la situación del bosque en las costas del cuerpo Sur del Lago Argentino en base a observaciones de naturalistas y botánicos.

Hacia el año 1900, Hesketh Prichard se encontraba explorando el Lago Argentino y consignó que le resultó difícil transitar por la costa del Brazo Rico: Prichard (1902 Pag. 193)

“Taking our horses, we made our way to the south-west along the shores of Lake Rica (actualmente Brazo Rico). We were forced to make *détours*, as the steep banks were cut by innumerable rifts, at the bottom of nearly every one of which streams of varying size emptied themselves into the fjord. **Heavy forest clothed the slopes of the hills almost to the margin of the water**”.

“Tomando nuestros caballos, nos encaminamos hacia el sur-oeste a lo largo de la costa de la Laguna Rica (actualmente Brazo Rico). Éramos forzados a realizar *détours* debido a que las abruptas riberas estaban cortadas por innumerables acantilados, en la base de las cuales había arroyos de diversos tamaños que desembocaban en el fiordo. **Bosques densos cubrían las laderas de las montañas casi hasta el margen del agua**”.

Según consta en este relato “Bosques tupidos vestían las laderas de los cerros casi hasta el borde del agua” lo cual indica claramente que no existía una costa amplia y transitable donde el bosque hubiese sido abierto por inundaciones. En el mismo año el Teniente de Fragata Iglesias, luego de realizar el relevamiento hidrológico del río Santa Cruz, bautizar al glaciar con el nombre de Perito Moreno, y mapear toda la zona recorrida, describió los bosques desde una perspectiva de aprovechamiento forestal (Iglesias 1901: Pag. 81).

“Los Montes Frías en su parte alta, Buenos Aires casi en su totalidad, Avellaneda desde la base a la cima, Hobler en su parte baja y toda la parte que circunscribe la Laguna Rica, presentan extensos bosques de fagus antárticos y betuloides iguales a los que ofrece Tierra del Fuego y que, por sus maderas, constituyen la riqueza natural de la región”.

Iglesias no hace referencia a una costa con árboles muertos en pie en el bosque que “circunscribe la Laguna Rica”, siendo que para cada montaña describió

claramente en qué parte de las laderas había bosque. De la misma manera de este texto podemos discernir que la Península Avellaneda aún no había tenido incendios.

Quensel en 1908, mientras realizaba investigaciones geológicas y glaciológicas pernoctó en el sector Sur del Glaciar Perito Moreno y realizó una observación detallada del bosque en contacto con el hielo (Quensel 1908 Pag. 173).

“We camped on the south side of the glacier and spent the following days in studying the ice. What makes the Bismarck Glacier so remarkable is that, in contrast to all other glaciers in South Patagonia that I have seen, it is advancing rather rapidly. Without exception the others withdraw, sometimes indeed so fast that the vegetation is not able to follow, so that there is a sharp limit where the ice stood before. But this one forces its way through the high forest on both sides, crushing everything in its way. I saw trees, still green, that had been knocked down by the ice”.

“Acampamos en el lado sur del glaciar y estuvimos los días siguientes estudiando el hielo. Lo que hace al Glaciar Bismarck (Glaciar Moreno) tan extraordinario es que, en contraste con todos los otros glaciares del Sur de Patagonia que he visto, está avanzando rápidamente. Sin excepción los otros retroceden, a veces tan rápido que la vegetación no es capaz de seguirlos, por lo que hay un límite muy marcado donde el hielo estuvo antes. Pero esta fuerza su paso a través del alto bosque en ambos lados, arrasando todo en su camino. Vi árboles, todavía verdes, que habían sido volteados por el hielo”.

Quensel describió el bosque en contacto con el hielo a ambos lados del glaciar y le llamó poderosamente la atención el hecho de ver árboles arrasados y volteados por el hielo. De haber habido árboles muertos en pie en la costa del Brazo Rico, es muy probable que los hubiese mencionado en sus escritos.

Seis años más tarde, en 1914, el botánico Cristóbal Hicken especuló sobre las consecuencias que tendría el avance del Glaciar Perito Moreno sobre la Península de Magallanes: Hicken (1915 Pag. 7)

[...] entonces este dique de hielo determinará un estancamiento del agua en la parte meridional, la que elevándose paulatinamente inundará las regiones inmediatas y quizás busque su salida por la zona próxima del brazo Frío, en donde los campos son relativamente bajos...

Aquí el relato está escrito en potencial, el Dr. Hicken, eminente botánico, describe lo que podría suceder si el glaciar endicara el lago e inundara los Brazos Rico y Sur. Sugiere que si no se abriera el dique, el agua descargaría hacia el Sur por el Lago Frías. Parece razonable asumir que si las inundaciones en las costas de

los Brazos Rico y Sur hubieran ocurrido previamente al año 1914, Hicken (1915) lo habría mencionado y no habría conjeturado sobre el futuro del bosque.

2.3.5 Los embalses del Lago Roca, Brazos Rico y Sur del Lago Argentino.

Siguiendo con el análisis de texto no se consignan datos de altura del agua para el embalse generado previamente a la primera ruptura del año 1936. Por el contrario antes de la segunda ruptura de 1940, Volpi y Grandi (1940) señalaron una diferencia de 4 m para el Brazo Rico en relación al Canal de los Témpanos. Para el mismo evento Heim (1951) consignó que los datos de la Intendencia del Parque Nacional en El Calafate, reportaron un nivel de 9 m para el día 25 de octubre de 1939, y que los terrenos al Este del Brazo Rico se habían inundado en una extensión de 40 km². Sin embargo de acuerdo a Raffo et al. (1953) el máximo nivel alcanzado por el agua en 1939 – 1940 fue incierto, pero basados en una comparación con el endicamiento de 1952 y 1953 estimaron que el nivel de los Brazos Rico y Sur pudo alcanzar 11.5 m de altura con respecto al Canal de los Témpanos. Esta información es también consistente con la provista por de Agostini (1945). En septiembre del mismo año (1939) el señor Horacio Echeverría fue desde su estancia “9 de Julio”, ubicada en el extremo Este del Brazo Rico, de a caballo hasta el frente del glaciar y constató que el paso de las aguas estaba cerrado razón por la cual el agua había continuado subiendo en su estancia (Echeverría, entrevista N° 1).

Con el propósito de detener esta inundación del año 1939, que causaba daños en las chacras aledañas, el Ministerio de Marina envió un avión para efectuar un reconocimiento aéreo del glaciar (Heisheimer 1954) y dispuso que se arrojaran bombas explosivas sobre la barrera de hielo. El procedimiento no dio resultado (Raffo et. al 1953, Echeverría, entrevista N° 1; Gatti, entrevista N° 10; Bellini, entrevista N° 13). Nichols y Miller (1952) fueron informados por el señor Cecilo Freile, un poblador local, de este mismo hecho.

Antes de la tercer ruptura del 20 de marzo de 1942 (Nichols y Miller 1952; Raffo et al. 1953), el agua había subido 8.41 m en el Brazo Rico y Sur según Raffo et al. (1953), 13.44 m según Heim (1951), 14.9 según Liss (1970) y 17 m según Nichols y Miller (1952).

Posteriormente Raffo et al. (1953), reportaron que el cierre del Glaciar Perito Moreno en noviembre de 1947 produjo una inundación que no duró mucho tiempo, y que la diferencia del nivel a ambos lados del glaciar era de 2,61m. El mismo valor fue reportado por Liss (1970). Mientras que según Bertone (1972) las aguas del Brazo Rico se habían elevado en 8 m con respecto al Canal de los Témpanos.

Hacia el final de 1948 y principios de 1949, el glaciar avanzó y cerró el Canal de Los Témpanos otra vez (Nichols y Miller 1952; Bertone 1972). Antes de la ruptura ocurrida en marzo de 1949, Don Jorge Echeverría midió la altura del agua en 30 m, junto con el geólogo Madejski, quien advirtió que con un máximo de 35 m el agua escurriría por la estancia Alta Vista hacia el río Centinela (Echeverría, entrevista N° 1). Este dato está muy por encima del máximo valor medido por Stuefer (1999) que asigna 23.5 m como cota máxima alcanzada por las aguas hasta el límite actual de la vegetación no afectada por las inundaciones.

Para agosto de 1951 el nivel del agua en el Brazo Rico aumentaba diariamente 3 cm en primavera y 7.4 cm en verano, y el desnivel llegó a 12.7 m al momento de la ruptura el 2 de marzo 1952 (Raffo et al. 1953) (Anexo Mapas y Gráficos). El mismo dato fue reportado por Liss (1970), pero Heinsheimer (1959) determinó 11.3 m para el mismo evento.

En agosto de ese mismo año 1952 el glaciar clausuró otra vez el Canal de los Témpanos y embalsó el agua alcanzando un desnivel de 14.4 m (Raffo et al. 1953). Mientras que para Heinsheimer (1954, 1959) la altura del agua llegó a 11 m o bien 12.85 m según respectivas publicaciones. La variación entre los datos podría deberse a que fueron tomados en distinta fecha, con distintos instrumentos y en diferentes lugares.

Para la siguiente inundación que culminó en 1956, Heinsheimer (1956 Pag.327) indicó que:

“Por lo tanto el dique glacial pudo sobrepasar el fin del verano 1954/55 y embalsar el agua de la porción austral del lago a un nivel jamás observado hasta la fecha. Hasta hay poca esperanza que su destrucción se producirá en este verano”.

Los niveles más altos alcanzados por el agua en el Brazo Rico y Sur fueron reportados previamente a la ruptura de 1956: 23 m según Mercer (1968), 25.6 m según Liss (1970) y 26 m según Heisheimer (1959). Sin embargo los dos últimos

datos de la altura del agua sobrepasan el máximo valor medido más recientemente con alta precisión por Stuefer (1999) que asigna 23.5 m como cota máxima, basado en la diferencia en elevación entre el borde de vegetación no afectado por inundaciones con el nivel normal del Canal de los Témpanos. Producto de esa inundación:

[...] La casa de la chacra la mudaron sobre vigas tiradas por bueyes. (Gutiérrez entrevista N° 5).

Para 1960 Liss (1970) consignó una altura del agua de 13.1 m. El mismo autor, para el décimo endicamiento del año 1963, reportó 15.7 m de altura del agua. Posteriormente en el año 1966 Liss (1970) señaló 28.4 m de altura mientras que Mercer (1968) reportó 27 m. Ambos datos estarían, nuevamente, por encima del máximo valor medido por Stuefer (1999) de 23.5 m para la cota máxima.

En el siguiente endicamiento de 1972, Bertone dió una altura para el nivel del brazo Rico y Sur de 38 m que sobrepasa en 15 m a la altura máxima medida por Stuefer (1999). Bellini, quien era guardaparque en la seccional Moreno (entrevista N° 13) dijo que el agua llegó a 28 m. Valor también por encima del máximo posible.

Lamentablemente no se pudieron encontrar las planillas mensuales de toma de datos que completaba el señor Salvador Martín en la chacra N° 2, quien enviaba los datos al Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Las mediciones las realizó desde el año 1950 hasta 1970 inclusive, él se quedaba con copias que luego regaló a un amigo de Uruguay junto con otros cuadernos de notas. La hija de Don Salvador conserva algunas cartas enviadas entre los ingenieros de SMN y su padre (Martín Entrevista N° 18).

Hasta la ruptura del año 1984 no vuelve a haber datos que reporten mediciones de la altura de los brazos del Lago Argentino. Después de la ruptura en enero de 1984, el guardaparque Jannes, junto con el agrimensor de Parques Nacionales señor Custeau, midieron la cota mínima del agua en la margen Sur del Brazo Rico y subieron por la roca desnuda hasta la cota máxima obteniendo una altura de desnivel de 27 m frente al glaciar (Jannes, entrevista N° 8). Nuevamente este dato es mayor que el medido por Stuefer (1999).

Previo a la ruptura de febrero de 1988 el nivel del Brazo Rico fue de 27 m según Jannes (entrevista N° 8), 21.6 m según Schubarch y Bugnest (entrevista N° 11 y 12) o 19 m según Skvarca (2002).

La altura del agua antes de la ruptura de 2004 fue de 9.35 m (Bugnest, Svetaz entrevista N° 12, 23), 7.9 m para la de 2008 (Intendencia Parque Nacional Los Glaciares) y tan sólo 5.93 m para la última ruptura de 2012, datos tomados por los capitanes del puerto Bajo de la Sombra (Mañarey, Tur Entrevista N° 21, 22). Un resumen gráfico de estos datos se muestra en la Figura 7. Una comparación del nivel alcanzado por el agua para las rupturas de los años 2004 y 2012 se muestra en la Figura 8.

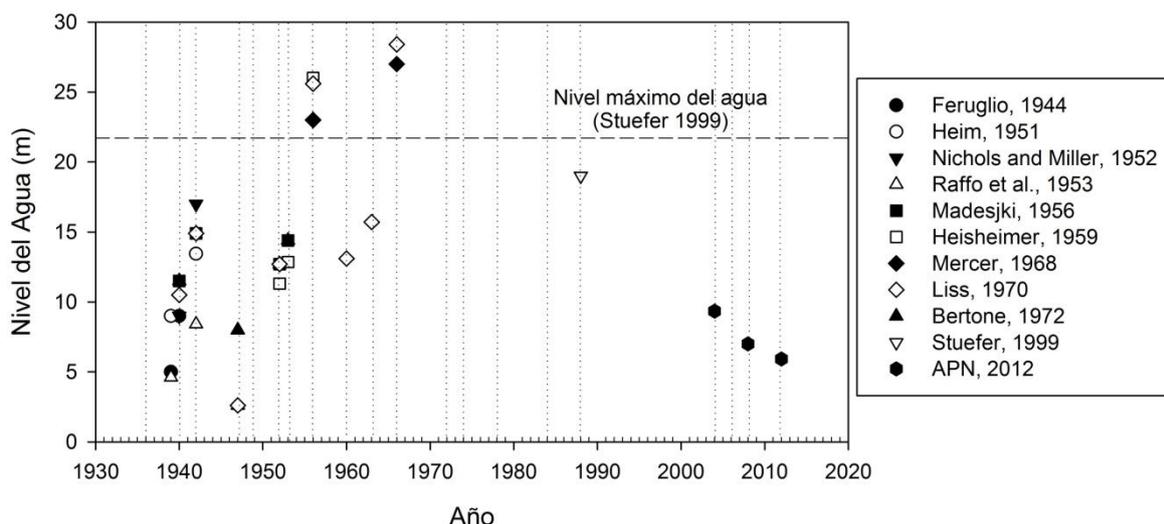


Figura 7. Variaciones en la altura alcanzada por las aguas de los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino en relación a los endicamientos producidos por el Glaciar Perito Moreno según documentos escritos y entrevistas. Las líneas punteadas verticales marcan los años de rupturas. La línea punteada horizontal muestra la altura de 23.5 m medida por Stuefer (1999).

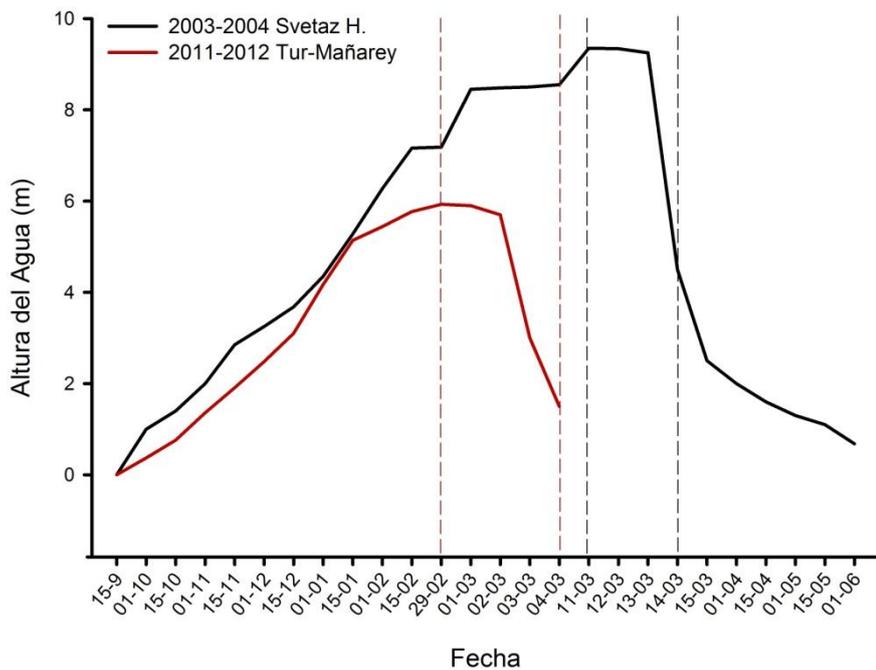


Figura 8. Altura alcanzada por el agua en relación al nivel normal o regular en el Brazo Rico, para las rupturas de los años 2004 (línea negra) y 2012 (línea roja). Los días de ruptura se marcan entre líneas punteadas, con los respectivos colores.

2.3.6 Las inundaciones y la percepción de la gente

Desde principios del siglo XX, la tierra al SE del Glaciar Perito Moreno estuvo poblada por colonos de diverso origen. Había 5 estancias y 14 chacras, estas últimas de 300 ha aproximadamente cada una (Raffo et. al 1953, Schoeder, Gatti entrevistas N° 3, N° 10) (Mapas y Gráficos). El Gobernador Gregores fue quien entregó tierras con destino a chacras en la península formada entre los lagos Roca y Brazo Rico del Lago Argentino ubicada hacia el SE del Glaciar Perito Moreno. La península se denominó Colonia Agrícola Francisco P. Moreno. Varias de las personas que adquirieron chacras vivían en El Calafate, las tierras de la Colonia eran mejores para el cultivo que los solares del pueblo. Estas personas pagaban arrendamiento al Consejo Agrario (Martín Entrevista N° 18).

La familia Scepanovic le compró la chacra a Ricardo Gatti en 1939, antes habían estado trabajando en la estancia Cerro Buenos Aires. Tenían huerta donde cultivaban gran variedad de verduras, hortalizas, cereales y frutos (Scepanovic, Gatti entrevista N° 6, N° 10).

[...] y teníamos avena, trigo, alfalfa, frutillas, ruibarbos, ajos, lentejas, habas, zapallitos verdes, papas. Antes de la inundación grande el tiempo fue bueno y pudimos aumentar de 300 a 500 las cabezas de ovejas en 300 ha.

Los ocupantes anteriores como no tenían alambres tuvieron que desmontar bosque y hacían los cercos con palos. Ayudaban en las chacras vecinas y luego ellos los ayudaban con la hacienda (Gatti, entrevista N° 10).

La familia Gutiérrez compró una chacra en el año 1952 que contaba con 302 ha, luego de que hicieran la subdivisión de la estancia Lago Rico y así la llamaron. Arreglaron el rancho y comenzaron a trabajar un día 1° de mayo. Cosechaban toda clase de verduras y llegaron a tener 500 ovejas. En febrero llevaban verduras, frutas y flores a la Exposición Rural en El Calafate. Como parte de la chacra se inundaba con los cierres del glaciar, obtuvieron campos fiscales para veranada en la Cordillera, donde llegaron a tener 2000 animales (Beecher 2006). Durante los primeros años que la familia Gutiérrez estuvo en la chacra tomaban datos de precipitaciones diariamente para el Servicio de Hidrología de la Nación (Gutiérrez entrevista N° 5)

[...] y algo nos pagaban por tomar los datos.

La familia Villalba supo tener una estancia en la entrada del pueblo –El Calafate- pero la perdieron, la gente los ayudó y les dieron una chacra en la península. Quedaba entrando hacia el lado del Brazo Rico, desde donde se ve el glaciar –actual campo El Rodeo-. Luego vivieron en la casa de la seccional Lago Roca de Parques Nacionales cuando Villalba fue guardaparque (Peña de Villalba, entrevista N° 16).

[...] cuando venía al médico cruzábamos en bote, Canario nos cruzaba, hasta la casilla de parques en Lago Roca, y veníamos por la ruta de la estancia Anita, lindas encajadas.

El señor Salvador Martín, más conocido en la zona como Canario Negro, pobló en 1935 autorizado por el Gobernador Gregores en Bahía Ameghino, al Norte de Glaciar Perito Moreno (Beecher 2004). Al ser desalojado por Parques Nacionales en el año 1944 el mismo gobernador le dio tierras en la península. La familia Martín cultivaba avena, trigo, centeno, cebada, alpiste. Los caballos eran pocos, tenían vacas lecheras y bueyes que tiraban las carretas (Martín, entrevista N° 18).

[...] yo nací en la estancia 9 de Julio de Horacio Echeverría el 26 de noviembre de 1943. Éramos vecinos de Echeverría la chacra era la N° 2 pero se inundaba todo. Tengo las cartas que el Ingeniero Madeski le escribía a papá porque él tomó los datos de la altura del lago durante 20 años. [...] el hotel Mitre era de mi abuelo Cecilio Freile, papá de mi mamá, Asunción Freile Pantín. Los hermanos eran: Cecilio (hijo), Porota, Estrella y Raimundo.

En Bahía Ameghino aun queda el rancho en pie. En 1952, Canario compró la chacra de Eduardo Macías pensando que allí no se inundaría. Había sido antes de Prieto, quedaba frente a la seccional Lago Roca y se llamaba “La Esperanza” (Beecher 2004; Martín, entrevista N° 18).

[...] el 30 de abril de 1952 estuve presente, cuando faltando solamente 42 cm para que llegara el agua al umbral de su casa, usted empezó a desarmarla y trasladar hacia el lado del Lago Roca. Atmósfera bien triste, como en un velatorio, no por la impotencia humana contra la Naturaleza, pero por la falta de comprensión, cooperación y ayuda de los más pudientes.

Algunos pobladores de las chacras fueron Mc Donald, Verán, Gerónimo Berberena, Emilio Amado, Máximo Villalba, Jorge Echeverría, Antonio Prieto, Benjamín Gómez, Porota Clark, Salvador Martín (Canario Negro), Antonio Scepanovic, Ariztizabal, Meyer, Simunovic Tonko, Jacinto Gómez, Ruth (Echeverría J., Scepanovic, entrevista N° 4, N° 6). La chacra que era de Berberena, en la punta del Brazo Rico, la compró Cecilio Freile, luego Bárcena y por último Schöeder. La chacra de Echeverría fue siempre de ellos, la casa actual es de material, con las inundaciones mudaron la casa más arriba, rescataron chapas y maderas (Gatti, entrevista N° 10).

En épocas de crecidas el nivel del agua subía 1 metro lineal por día, lo medían con palos, removían el palo que quedaba bajo el agua y volvían a colocarlo en la cota máxima. (Scepanovic, Echeverría H, entrevista N° 6, 7). El brazo Rico demoraba 2 o 3 días en desagotar (Gutiérrez, Echeverría H, entrevista N° 5, 7).

Don Pocho Gómez y Don Bartolo Méndez de Parques Nacionales ayudaban con un bote a motor para cruzar el lago en épocas de inundaciones. (Scepanovic, entrevista N° 6). Luisa Díaz era la dueña de la estancia Chorrillo Malo, Juan Jasman dueño de la estancia La Jerónima, actual Nibepo Aike. Los campos frente al glaciar donde el hielo toca con la Península de Magallanes, eran de López Muñiz, un abogado (Gatti, entrevista N° 10). En la estancia La Jerónima estaban Cuesta y Peso que eran socios, antes que la comprara Jasman. El puesto Camiseta fue siempre de esa estancia. Previamente a que Aristizabal comprara las chacras en la península estaba Ricardo Pereda oriundo de la zona de Puerto Santa Cruz. Estuvo muy poco tiempo, por las inundaciones, el campo quedaba todo cortado en islotes (Martín, entrevista N° 18).

En 1972 Canario se mudó al pueblo de El Calafate y le vendió la chacra a Svonko (primo de Tonko Simonovic) y la viuda de Svonko se la vendió a Schöeder y pasó a integrar así la estancia Dos Lagos (Martín, entrevista N° 18).

“Hoy vemos que es hermoso que el glaciar se cierre para ver el espectáculo del rompimiento, pero para nosotros, (familia Martín), como para los otros chacareros, era un trastorno, quedábamos en una isla a la que había que llegar o salir en bote. Si estábamos en el pueblo, terminábamos la escuela y nos llevaban a la chacra en un bote. Tres años quedaba cerrado y cuando el camino se abría, al año otra vez se bloqueaba, es decir que había un año entre medio en donde teníamos paso” (Familia Martín, Beecher 2004).

En cuanto a la altura alcanzada por el agua, en la mayoría de los casos, los datos aportados por pobladores sobrepasa los 23.5 m propuestos por Stuefer (1999), como altura máxima medida. Schöeder (Entrevista N° 3) da 38 m sin fecha, Scepanovic (Entrevista N° 6) dice que el agua llegó a los 28 m, también sin fecha, Gatti (Entrevista N° 10) a los 25 m, Gutiérrez (Entrevista N° 5) da 30 m para el año 1953, Echeverría Jorge (h) (Entrevista N° 7) dice que el agua llegó a 28 m en 1955, Bellini (Entrevista N° 13) también reporta 28 m para el año 1972, mientras que Schubac (Entrevista N° 11) dice que llegó a los 36 – 38 m en ese año.

2. 4 Discusión

El Glaciar Perito Moreno, desde que existe registro histórico, ha sido uno de los glaciares más visitados del Campo de Hielo Patagónico Sur. Basta con analizar el conjunto de nombres dados al glaciar, con los cuales queda de manifiesto un claro sentido de “apropiación” a lo largo del tiempo. Exploradores y científicos de diversas nacionalidades quisieron dejar su huella en el imponente glaciar bautizándolo en honor a personalidades de su tierra. La fluctuación del frente del glaciar y los eventos de rupturas captaron la atención de naturalistas, exploradores y científicos. Desde 1936 a 1988, ocurrieron 17 endicamientos y rupturas con una periodicidad de dos a cuatro años. Luego de un período de 16 años sin actividad, nuevamente ocurrieron rupturas en 2004, 2006, 2008 y 2012. La información histórica referida al comportamiento de este glaciar se encuentra dispersa en la literatura científica, en documentos y fotografías locales. Un detallado análisis de estos documentos indica que el primer cierre del frente del Glaciar Perito Moreno ocurrió en el verano de 1917. De acuerdo a de Agostini (1945) este cierre fue breve y no produjo un endicamiento en los Brazos Sur y Rico. Fotografías y descripciones anteriores a 1917 muestran que el frente del glaciar estaba localizado a 750 m de la costa de la Península de Magallanes en el año 1899 (Hauthal 1904), luego avanzó pocos metros en 1900 y Reichert (1917) indicó que en 1914 el frente del glaciar se encontraba a tan sólo 100 m. Esto sugiere que es probable que el glaciar estuviera a 750 m o más alejado de la Península de Magallanes hacia el final del siglo XIX.

La fotografía de un enorme bloque de hielo muerto ubicado en la costa de la Península de Magallanes en el verano de 1936, representa la primera evidencia histórica de una ruptura del Glaciar Perito Moreno (de Agostini 1937). De acuerdo a Raffo et al. (1953) el endicamiento se formó durante el invierno de 1935 y duró hasta marzo de 1936. Luego de cada ruptura un bloque aislado de hielo muerto permanece separado del glaciar en las costas de la Península de Magallanes por varios meses y en algunos casos por más de un año. No se encontraron reportes de embalses de los Brazos Rico y Sur en documentos históricos durante los 37 años que transcurrieron entre la visita de Hauthal en 1899 y el año 1936 del primer endicamiento documentado, aun cuando el glaciar alcanzó la Península de Magallanes en 1917, según registros del padre salesiano Alberto de Agostini (1941).

Cuando comparadas con fotografías actuales, desde la misma ubicación, las imágenes antiguas muestran una cobertura del bosque extendiéndose hasta la costa del lago, mientras que las fotografías posteriores a 1936 (Por ejemplo, de Agostini 1943 en Figura 3 muestran un área desnuda a lo largo de la costa). Detalladas descripciones como la de Iglesias (1901) confirman que el bosque se extendía hasta la costa del Brazo Rico durante las primeras décadas del siglo XX. Por el contrario la mayoría de las descripciones de los naturalistas luego de los endicamientos de la primera mitad del siglo XX denotan miles de árboles muertos en pie en las costas de los Brazos Rico y Sur (Nichols y Miller 1952, Heinsheimer 1954, Dimitri 1972). El tamaño de estos árboles de *Nothofagus pumilio* y *N. betuloides* con diámetros mayores a 1 m indican que los mismos alcanzaron una edad considerable. Por lo cual se procedió al datado y fechado de los árboles, tema que se desarrolla en el capítulo siguiente.

En cuanto a la altura alcanzada por el agua en cada endicamiento para los Brazos Rico y Sur existen diferencias en los valores reportados. De todas maneras la fotografía del año 1943 tomada por de Agostini es consistente con estimaciones de aproximadamente 10 – 12 m para las primeras inundaciones. Los valores máximos de nivel de agua de 22 – 26.5 m fueron medidos para los eventos de la década de 1950. Las diferencias de valores pueden estar dadas por el uso de distintos instrumentos, tiempo de observación y diferentes observadores. En relación a esta misma variable, de acuerdo a los pobladores, en la mayoría de los casos, el nivel alcanzado por el agua está muy por encima del valor máximo medido por Stuefer (1999). Esta percepción puede haber estado influenciada por las consecuencias negativas que traía aparejado el aumento en el nivel del agua. De las catorce chacras existentes en el área, tres familias tuvieron que mudar sus casas, además de pérdidas de tierras de cultivo y el inconveniente de manejar ganado en un sector que se transformaba en islas. Lo cual llevó a sucesivas ventas de la tierra en años anteriores a que el turismo se instalara como principal actividad económica de la zona.

Existe vasta información acerca del comportamiento glaciológico inusual del Glaciar Perito Moreno (Chinni and Warren, 2004; Pasquini and Depetris, 2011; Skvarca and Naruse, 2005; Skvarca et al., 2004; Stuefer et al., 2007) por lo que no ha sido el objetivo de este apartado avanzar en este tipo de discusión. Por otro lado,

los intentos de relacionar las fluctuaciones del Glaciar Perito Moreno con el clima regional en una perspectiva de largo plazo no han producido aún resultados convincentes (Masiokas et al., 2009). El Glaciar Perito Moreno contrasta con la mayoría de los glaciares del Campo de Hielo Patagónico Sur, que muestran patrones de retracción y adelgazamiento durante las décadas recientes en relación con el aumento en la temperatura durante el siglo XX (Rignot et al., 2003; Villalba et al., 2003).

Resulta interesante destacar como un evento natural puede generar, en un determinado sector de la población, percepción negativa hacia la naturaleza. Por ejemplo en Noruega en el siglo XVIII el avance de algunos glaciares devastó estancias y tierras de cultivo durante la Pequeña Edad de Hielo (Nussbaumer et al. 2011). De manera similar los endicamientos e inundaciones provocados por el Glaciar Perito Moreno, perjudicaron a los habitantes de la Colonia Agrícola P. Moreno al perder tierras de cultivo e incluso algunas viviendas. Por el contrario, el mismo comportamiento del Glaciar Perito Moreno en décadas más recientes generó afluencia masiva de visitantes con el consecuente impacto económico positivo en la población de El Calafate. Esclarecer la historia y la particular dinámica de este glaciar nos indica que nuestras generaciones han tenido la gran oportunidad de disfrutar de uno de los procesos naturales más espectaculares que se pueden vivenciar en el planeta.

2. 5 Bibliografía

Aniya, M. Skvarca, P. (1992) Characteristics and variations of Upsala and Moreno glaciers, southern Patagonia. *Bulletin of Glacier Research* 10: 39–53.

Beecher, P.G. (2004) Los Martín, cosechar entre tempestades y crecidas. Suplemento Historias de Domingo. *Diario La Opinión Austral*. Agosto 2004.

Beecher, P.G. (2006) Los Gutiérrez, hacedores del lago. *Familias de Santa Cruz. La Opinión Austral*, 205–216.

Bertone, M. (1972) Aspectos Glaciológicos de la Zona del Hielo Continental Patagónico. Contribución del Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico. Ministerio de Cultura y Educación. Buenos Aires.

Bertone, M. (1997) Aspectos Glaciológicos de la Zona del Hielo Continental Patagónico. Buenos Aires.

Brannstrom, C. (2004) What kind of history for what kind of political ecology? *Historical Geography* 32, 71-87.

Camus Gayan, P. (2001) Perspectiva de la historia ambiental: orígenes, definiciones y problemáticas. En *Pensamiento Crítico (Revista Electrónica de Historia)* 1, 2-27.

de Agostini, A.M. (1937) Parque Nacional Los Glaciares. En: *Nuevos Parques Nacionales*. Dirección de Parques Nacionales. República Argentina. Buenos Aires

de Agostini, A.M. (1945) Andes Patagónicos. Viajes de exploración a la Cordillera Patagónica Austral. Segunda edición. Guillermo Kraft, Buenos Aires. 445 pp.

de Agostini, A.M. (2010) Andes Patagónicos. Viajes de exploración a la Cordillera Patagónica Austral. Santiago de Chile: Sagredo Baeza, Rafael.

Depetris, P.J. Pasquini A.I. (2000) The hydrological signal of the Perito Moreno Glacier damming of Lake Argentino (southern Andean Patagonia): the connection to climate anomalies. *Global and Planetary Change* 26, 367-374.

Dimitri, M. (1972) La región de los bosques andino-patagónicos. I. Sinopsis general. Buenos Aires: Colección científica del INTA, 281.

Feruglio, L.C. (1944) Estudios Geológicos y glaciológicos en la Región del lago Argentino. *Bol. Ac. Nac. de Ciencias*. Córdoba.

Franco, N.V. (2004) La organización tecnológica y el uso de escalas espaciales amplias, el caso del sur y oeste del Lago Argentino. En: *Temas de Arqueología, Análisis lítico* 101 – 144. Ed. Acosta A. Laponte D. y M. Ramos. Universidad Nacional de Luján

Franco, N.V. Aragón E. (2004) Variabilidad en fuentes secundarias de aprovisionamiento lítico: El caso del sur del (Lago Argentino Santa Cruz, Argentina). *Estudios Atacameños* 28, 71–85

Frontera Argentino – Chilena (1902) Memoria presentada al Tribunal nombrado por su Majestad Británica “para considerar e informar sobre las diferencias suscitadas respecto a la frontera entre las Repúblicas Argentina y Chilena. Ed. William Clowes e Hijos Ltda. Londres

Gallego, D. García-Herrera, R. Prieto, R. Peña-Ortíz, C. (2008) On the quality of climate proxies derived from newspaper reports, a case study. *Clim. Past* 4, 11–18.

Gallini, S. (2004) Problemas de métodos en la historia ambiental de América Latina. *Anuario IHES (Argentina)* 19, 147-171.

Gallini, S. (2005) Invitación a la historia ambiental, *Revista Tareas*, vol. 120, Historia ambiental Latinoamericana, 5-28, CELA, Centro de Estudios Latinoamericanos “Justo Arosemena”, Panamá.

Gallois, L. (1901) Los Andes de Patagonia. Traducido de los *Annales de Géographie*. Tome X, 232–259.

Gil Montero, R. Morales M. Villalba, R. (2010) Población y economía en los Andes: las crisis de subsistencia en Talina entre los siglos XVII y XX. *Surandino Monográfico*, segunda sección del Prohal Monográfico (1-2), 1-33.

Hauman, L. (1920) Un viaje botánico al Lago Argentino (Patagonia). *Anales Soc. Cient. Arg.* 89, 179-281.

Hauthal, R. (1904) Gletscherbilder aus der Argentinischen Cordillere. *Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereines* 35, 30–56.

Heim, A. (1951) Informe sobre un estudio glaciológico en el Parque Nacional Los Glaciares. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación, Administración General de Parques Nacionales. Buenos Aires. 25 pp.

Heisheimer, G.J. (1954) Der Durchbruch des Morenogleschers, Lago Argentino, Patagonien. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*. III/1, 33–45.

Heinsheimer, G.J. (1956) Zur Hydrologie und Glaziologie des Lago Argentino und Ventisquero Moreno, Argentinien. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* III/3, 327-333.

Heisheimer, G.J. (1959) Una Investigación sobre el Balance de Agua de la Cuenca Atlántica del Hielo Patagónico y de la Región de los Lagos Viedma y Argentino. *Anales de la Academia Argentina de Geografía* 3, 50-92

Hicken, C.M. (1915) Un viaje al Lago Argentino. Centro de Estudiantes de Ingeniería 18 pp.

Iglesias, A.R. (1901) Relevamiento hidrográfico del Río Santa Cruz. Informe general. Buenos Aires. Imprenta de "La Nación" 150 pp.

Kohlmann, F. (1930-1934) Vistas de la República Argentina. I Territorios de Chubut y Santa Cruz. Edición Federico Kohlmann, La Plata. Álbum fotográfico.

Kölliker, A. Kühn, F. Reichert, F. Tomsen, A. Witte, L. (1917) Patagonia: Resultados de las expediciones realizadas en 1910 a 1916. Ed. Sociedad Científica Alemana, 2 Vol. Compañía Sud-Americana de Billetes de Banco. Buenos Aires 430 pp.

Liss, C. (1970) Der Morenogletscher in der Patagonischen Kordillere: sein ungewöhnliches Verhalten seit 1899 und der Eisdammbruch des Jahres 1966. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie VI (1-2), 161-180.

Marradi, A. Archenti, N. Piovani, J. (2007) Metodología de las Ciencias Sociales, Emecé, Buenos Aires

Masiokas, M.H. Rivera, A. Espizua, L.E. Villalba, R. Delgado, S. y Aravena, J.C. (2009) Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Elsevier B.V. 281(3-4), 242–268.

Mehl, A. Franco, N.V. (2009) Cambios en la morfología de los reparos rocosos: el caso de los sitios arqueológicos Chorrillo Malo 2 y Río Bote 1 (Provincia de Santa Cruz, Argentina) En: *Arqueología en Patagonia: una mirada desde el último confín*, tomo 2: 893 – 900. Ed. Saleme M., Santiago F., Álvarez M., Piana E., Vazquez M. y M. Mansur. Editorial Utopías. Ushuaia

Mendes, J.M. (2010) *Sociedades del Bosque. Espacio social, complejidad ambiental y perspectiva histórica en la Patagonia andina durante los siglos XIX y XX*. Tesis de Maestría. Programa de Estudios de Posgrado de CLACSO. Maestría en "Teoría y Metodología de las Ciencias Sociales".

Mercer, J.H. (1967) Glaciers of Chile and Argentina between latitude 46°S and the Straits of Magellan. In: *Southern Hemisphere Glacier Atlas. Technical Report 67-76-ES*. American Geographical Society, N.Y.

Mercer, J.H. (1968) Variations of some Patagonian glaciers since the Late-Glacial. *American Journal of Science* 266(2), 91–109.

Moreno, F.P. (1879) *Viaje a la Patagonia Austral (1876-1878)* Buenos Aires.

Nichols, R.L. Miller, M.M. (1952) The Moreno Glacier, Lago Argentino, Patagonia. Advancing glaciers and nearby simultaneously retreating glacier. *Journal of Glaciology* 2, 41–46

Nussbaumer, S. Nesje, A. Zumbühl, H. (2011) Historical glacier fluctuations of Jostedalbreen and Folgefonna (southern Norway) reassessed by new pictorial and written evidence. *The Holocene* 21 (3), 455-471

Nussbaumer, S.U. Zumbühl, H.J. (2012) The Little Ice Age history of the Glacier des Bossons (Mont Blanc massif, France): a new high-resolution glacier length curve based on historical documents. *Climatic Change* 111:301-334

Pasquini, A. Depetris, P. (2011) Southern Patagonia's Perito Moreno Glacier, Lake Argentino, and Santa Cruz River hydrological system: An overview. *Journal of Hydrology* 405, 48–56

Prichart, H.H. (1902) *Through the heart of Patagonia*. D. Appleton & Company. N Y

Prieto, M.R., Soria, N.D. Herrera, R.G. (1995) Granizo, heladas y vitivinicultura en Mendoza (1887 – 1987). *Revista de Estudios Regionales CEIDER*. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Filosofía y Letras. Mendoza.

Prieto, M.R. Abraham, E.M. (1998) Historia ambiental del sur de Mendoza (siglos XVI al XIX). Los factores críticos de un proceso de desertificación. *Bamberger Geographische Schriften* 15, 277-297.

Prieto, M.R., Villagra, P., Lana N.B. Abraham, E.M. (2003) Utilización de documentos históricos en la reconstrucción de la vegetación de la Llanura de la Travesía (Argentina) a principios del siglo XIX. *Revista Chilena de Historia Natural* 76, 613-622.

Quensel, P.D. (1908) En: Skottsberg, C. (1911) *The wilds of Patagonia. A narrative of the Swedish expedition to Patagonia, Tierra del Fuego and Falkland Islands in 1907 – 1909*. London.

Raffo, J.M., Colqui, B.S. Madejski, M.E. (1953) Glaciar Moreno. *Revista Meteoros*. Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional. 3 (4), 293-341.

Reichert, F. (1917) a Vorläufiger Bericht über das Ergebnis der Expedition nach den sog. "Patagonischen Inlandeis" und dem Bismarckgletscher. *Zeitschrift für Gletscherkunde* 10, 225–230.

Reichert, F. (1917) b Regiones Andinas inexploradas de la Patagonia Austral. Entre el Lago Argentino y el fiordo San Andrés. Resultados Geográficos – Geológicos de la Expedición de la Comisión Flora Argentina. En: Kölliker A. Kühn F. Reichert F. Tomsen A. Witte L. (1917) *Patagonia: Resultados de las expediciones realizadas en 1910 a 1916*. Ed. Sociedad Científica Alemana, 2 Vol. Compañía Sud-Americana de Billetes de Banco. Buenos Aires 430 pp.

Rogers, T.J. (1878) *Cabos Suelto de Historia Patagónica. Rumbo hacia los Andes Australes*. *Revista Argentina Austral*. Mayo 1939, N° 119, 44–52.

Rojas, J.F. (2013) *Procesos ambientales: deforestación y actividades productivas en los valles y bolsones del oeste de La Rioja y Catamarca desde mediados del siglo XIX*. Tesis de Doctorado en Geografía. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras

Skottsberg, C. (1911) *The wilds of Patagonia. A narrative of the Swedish expedition to Patagonia, Tierra del Fuego and Falkland Islands in 1907 – 1909.* London.

Skvarca, P. (2002) *Importancia de los glaciares del Hielo Patagónico Sur.* Geología y Rec. Nat. de Santa Cruz. Relatorio XV Congreso Argentino de Geología. El Calafate V-1, 785-798.

Stuefer, M. (1999) *Investigations on Mass Balance and Dynamics of Moreno Glacier base don Field Measurments and Satellite Imagery.* PhD thesis. University of Innsbruck, Austria, 173 pp.

Vasilachis de Gialdino, I. (1992) *Métodos cualitativos. Los problemas teórico-epistemológicos.* Buenos Aires: Centro Editor de América Latina.

Vasilachis de Gialdino, I. (2006) *La investigación cualitativa.* En Irene Vasilachis de Gialdino (Ed.), *Estrategias de investigación cualitativa (23-64).* Barcelona: Gedisa.

Valles, M.S. (1997) *Técnicas cualitativas de investigación social. Reflexión metodológica y práctica profesional.* Madrid. Síntesis S. A.

Volpi, C.A. Grandi, A.L. (1940) *El Ventisquero Moreno.* La Ingeniería, Buenos Aires. Tomo XLIV, 54-63

Worster, D. (2008) [1990] *Transformaciones de la Tierra. Una antología mínima de Donald Worster.* Selección, traducción y presentación de Guillermo Castro H., Panamá.

Worster, D. (2004) *¿Por qué necesitamos de la historia ambiental?* En *Revista Tareas*, Nro. 117, 119-131, CELA, Centro de Estudios Latinoamericanos, Justo Arosemena, Panamá, R. de Panamá.

Worster, D. (1988) *Doing Environmental History.* En: *The Ends of de Earth, Perspectives on Modern Environmental History.* Cambridge University Press, Cambridge.

Zarrilli, A.G. y Galafassi, G.P. (2002) *Ambiente, Sociedad y Naturaleza. Entre la teoría social y la historia.* Ed. Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires.

Zumbühl, H.J. y Holzhauser, H. (1988) *Alpengletscher in der Kleinen Eiszeit.* Sonderheft zum 125jährigen Jubiläum des SAC. *Alpen* 64 (3): 129 – 322.

Capítulo III

Historia de los endicamientos producidos por el Glaciar Perito Moreno: una aproximación dendrocronológica.

*Soñé que era árbol
y mis hojas brotaban en primavera.
Me desperté y era árbol
con mis hojas rojas prestas a caer.*
CG



Costa Sur del Brazo Rico, árboles muertos en pie debido a las sucesivas inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno.

Contenidos

3.1 Introducción

3.2 Materiales y Métodos

3.2.1 Área de estudio y colección de muestras

3.2.2 Procesamiento dendrocronológico de las muestras de barreno de incremento y desarrollo de cronologías de ancho de anillos para *Nothofagus pumilio* y *N. betuloides*.

3.2.3 Procesamiento dendrocronológico de las secciones transversales y determinación de fechas de mortalidad

3.3 Resultados

3.3.1 Características de las cronologías de ancho de anillos de *N. pumilio* y *N. betuloides*

3.3.2 Fechado de árboles muertos *in situ*.

3.3.3 Reconstrucción de eventos de endicamientos

3.4 Discusión

3.5 Bibliografía

3.1 Introducción

Desde principios del siglo XX el Glaciar Perito Moreno ha experimentado sucesivos avances (Heim 1951; Raffo *et al.* 1953) hasta que al chocar su frente con la ladera opuesta del valle sobre la Península de Magallanes provoca el endicamiento de las aguas contenidas en el Lago Roca y los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino. Los eventos de endicamiento del glaciar culminan con espectaculares rupturas de la pared frontal, permitiendo que el agua embalsada drene rápidamente y siga su curso normal, a través del Río Santa Cruz, hacia el océano Atlántico. Debido a este comportamiento, el Glaciar Perito Moreno es único en cuanto a su dinámica (Mercer 1968; Clapperton 1993). En contraposición a la fuerte retracción documentada por la mayoría de los glaciares del Campo de Hielo Patagónico Sur, el GPM ha permanecido relativamente estable durante el siglo XX y la primer década del presente siglo (Aniya y Skvarca 1992; Skvarca y Naruse 1997; Stuefer *et al.* 2007).

Los embalses ocasionados por el cierre del Glaciar Perito Moreno producen inundaciones periódicas en los bosques que ocupan las márgenes del lago afectando profundamente su dinámica. Las primeras inundaciones documentadas a principios del siglo XX (Capítulo II de esta tesis) provocaron la muerte de miles de árboles de grandes dimensiones que crecían próximos a las costas del sector Sur del Lago Argentino. Gigantescos árboles muertos en pie han dado origen a un paisaje único en la Patagonia (fotografía de la portada). Las tres especies existentes de *Nothofagus*, *Pilgerodendrum uviferum* (ciprés de las guaitecas) y otros elementos menores del bosque han sido afectadas por el agua de las recurrentes inundaciones. Por ello, en sus leños encierran valiosa información acerca de la historia de estos disturbios.

En el campo de la ecología, el estudio del ancho de los anillos de crecimiento ha sido de gran utilidad en la descripción y documentación de procesos dinámicos del bosque (Kitzberger *et al.* 2000). La dendroecología investiga las variaciones en el incremento radial anual de los anillos de crecimiento de los árboles para determinar, entre otras cosas, las influencias ambientales en el crecimiento, la estructura de los rodales y la dinámica de los bosques (Fritts y Swetnam 1989). Los disturbios tanto endógenos (dinámica a nivel de rodal) como exógenos (originados

fuera del rodal) tienen gran influencia sobre la tasa de crecimiento radial (Cook 1987; Nowacki y Abrams 1997). De esta manera, las técnicas dendroecológicas resultan de gran utilidad para la identificación y documentación de los regímenes históricos de disturbios en bosques (Rubino y McCarthy 2004). Por ejemplo, en distintas partes del mundo, se han fechado eventos de inundaciones en márgenes de ríos utilizando anillos de crecimientos marcadores o característicos (Langlais y Bégin 1993; Gottesfeld 1996; Meyer 2001; Zielonka *et al.* 2008).

El objetivo de este capítulo es reconstruir la historia de los endicamientos, y por ende, las inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno, a partir de métodos dendrocronológicos. Para lograr este objetivo general se determinó la edad máxima de los árboles muertos *in situ*; y se estableció la fecha de muerte de los árboles ubicados en las márgenes del lago. De esta manera se pudo reconstruir y evaluar la recurrencia de endicamientos en el pasado. Asimismo, y como objetivo integrador de los capítulos II y III se planteó relacionar la reconstrucción histórica del comportamiento del Glaciar Perito Moreno con las evidencias ambientales encontradas en los árboles a partir de métodos dendrocronológicos.

Las hipótesis planteadas para este apartado son las siguientes: a) que en los últimos dos siglos (capítulo II de esta tesis), el primer evento de inundación y ruptura ocurrió en el año 1936. Por ende se asume que esto provocó la muerte de árboles que por cientos de años se habrían desarrollado en los bordes del Lago Roca y los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino; b) que los eventos de inundación de mayores dimensiones documentados ocurrieron en la década de 1950, lo que provocó la muerte de árboles en las cotas más altas del lago, no alcanzada por inundaciones previas; c) que la datación de las fechas de mortalidad de los árboles ubicados en distintos niveles de cota permite complementar la cronología de los endicamientos a partir de datos históricos (Cap. II).

3.2 Materiales y Métodos

3.2.1 Área de estudio y colección de muestras

El área de estudio está ubicada a los 50° 30' de latitud Sur y 72° 50' de longitud Oeste, localizada en el Suroeste de la provincia de Santa Cruz (Fig. 1). Los sitios de estudio se distribuyeron en el Parque Nacional Los Glaciares y en el Parque Provincial lindante Península de Magallanes.



Figura 1. Área de estudio. Para detalle de las siglas de los sitios muestreados ver tablas 1 y 2.

En la zona de estudio tres especies de *Nothofagus* conforman los bosques, de los cuales *Nothofagus betuloides* Mirb. Blume (guindo o coihue de Magallanes) es siempreverde mientras que *Nothofagus antarctica* (G. Foster) Oerst. (ñire) y *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser (lenga) son decíduos (Moore, 1983). Los árboles crecen desde la costa del Lago Argentino a 185 m, hasta los 900 m y casi en contacto con el hielo (Perez Moreau 1959; Armesto *et al.* 1992). Según la ubicación en cuanto a orientación y exposición los bosques se pueden clasificar por su mayor o menor grado de humedad en: a) Bosque Magallánico templado húmedo b) Bosque Magallánico mésico c) Bosque Magallánico seco (Veblen *et al.* 1996).

Otras especies arbóreas que componen el bosque son *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin (ciprés de las Guaytecas) y *Drymis winteri* J. R. Forst & G. Forst (canelo) en el bosque húmedo, mientras que *Embothrium coccineum* J. R. Forst & G. Forst (notro o ciruelillo) aparece distribuido muy frecuentemente en todos los tipos de bosque de la región.

Con el fin de desarrollar cronologías de ancho de anillo a partir de árboles vivos, que sirvan de referencia para el fechado de los árboles muertos por las inundaciones, se muestrearon 4 sitios (Fig. 1): Mirador (MIO, MIE) y Península (PEN), ambos ubicados en la ex Colonia Agrícola Francisco P. Moreno; Las Monedas (LMO, TLM, CLM), en la costa Sur del Brazo Rico y Camiseta (CAM) en la costa Oeste del Brazo Sur. Se tomaron muestras con barreno de incremento de 20 a 40 árboles por sitio, a razón de dos radios por árbol (Tabla 1). Los árboles se barrenaron a la altura del pecho (1,30 m). Debido a que *N. pumilio* y *N. betuloides* usualmente presentan en el fuste centros o zonas con pudrición, muchas veces sólo fue posible obtener un radio suficientemente largo para ser incorporado a la cronología. Las cronologías desarrolladas fueron utilizadas para el datado de los árboles muertos.

Tabla 1: Sitios muestreados para la elaboración de cronologías de ancho de anillos de *N. pumilio* y *N. betuloides*.

Sitio	Abreviación	Latitud S	Longitud O	N° árboles	N° radios	Período (años)	Fecha de Muestreo
MIRADOR (Oeste)	MIO	50°32'59.14	72°53'30.43	42	64	1759 - 2002	Febrero 2003
MIRADOR (Este)	MIE	50°33'00.36	72°52'29.84	12	22	1842 - 2002	Febrero 2003
PENÍNSULA	PEN	50°32'46.50	72°53'29.64	19	34	1777 - 2002	Febrero 2003
CAMISETA	CAM			26	51	1744 - 2003	Marzo 2004
LAS MONEDAS Cronología	CLM	50°30'07	73°01'04	31	44	1733 - 2011	Enero 2012
LAS MONEDAS Transecta I	TLM	50°30'31.9	72°59'52.4	18	23	1874 - 2011	Enero 2012
LAS MONEDAS Transecta II	LMO	50°30'06	73°00'57.5	5	6	1806 - 2011	Enero 2012
				153	244		

El muestreo de los árboles muertos *in situ* se realizó en 6 sitios a lo largo de las costas del sector Sur del Lago Argentino: Bahía de la balsa (BAH) y Mirador (MIR) en la costa Este del Brazo Sur; Brazo Sur Muerto (BSM) en la costa Oeste del Brazo Sur; Camping Río Mitre (CRM) y Bahía Catalana (CAT) en la costa Norte del Brazo Rico y en la costa Sur del Brazo Rico se muestreó Las Monedas (LMO, TLM, MON) (Tabla 2, Fig. 1). En cada sitio se colectaron entre 10 a 40 árboles, resultando un total de 92 árboles muestreados (Fig. 2).

Los árboles elegidos para tomar muestras fueron aquellos que se encontraban *in situ* y muertos en pie. Algunos presentaban vestigios de ramas de la copa, otros el fuste entero, o bien estaban cortados aproximadamente a 1-2 m de altura, quedando en forma de tocón al haber sido aprovechados previamente por pobladores locales para obtención de leña (Parques Nacionales 1997). Las muestras fueron tomadas con motosierra. De cada árbol se cortó una cuña, dejando el árbol en pie y de los tocones se cortaron rodelas completas. En todos los casos los árboles seleccionados fueron aquellos que presentaban mejor estado de conservación exterior del fuste para tener certeza de que los últimos anillos no habían sido perdidos. En ciertos ejemplares se comprobó que aún quedaban vestigios de corteza en los troncos. En Camping Río Mitre se obtuvieron solamente

3 secciones transversales debido a que en la mayoría de los tocones, por el avance de pudriciones, el centro y gran parte del sector central eran inexistentes.

De cada árbol se tomó la distancia sobre el terreno con respecto a la costa del lago (distancia Y), se midió la pendiente del terreno con un clinómetro Suunto, y se reportó la elevación en metros con un GPS Garmin. El dato de elevación obtenido con GPS fue corregido por medio del cálculo de altura a partir del ángulo de la pendiente y la distancia en Y, con lo cual se obtuvo la cota o elevación a la cual se encontraba cada árbol.

Tabla 2: Sitios muestreados para la obtención de secciones transversales (cuñas y/o rodelas) de árboles muertos *in situ*.

Sitio	Abreviación	Latitud Sur	Longitud Oeste	N° árboles	N° radios	Período (años)	Fecha de Muestreo
BAHÍA Brazo Sur (Este)	BAH	50°31'59.09	72°52'10.94	10	19	1775 - 1944	Febrero 2003
MIRADOR Brazo Sur (Este)	MIR	50°32'36.08	72°53'23.83	17	32	1692 - 1961	Febrero 2003
BRAZO SUR Brazo Sur (Oeste)	BSM	50°34'21.1	72°57'27.1	9	14	1790 - 1932	Marzo 2004
CATALANA Brazo Rico (Norte)	CAT	50°28'39.6	73°01'27	14	25	1838 - 1954	Marzo 2004
CAMPING RÍO MITRE Brazo Rico (Norte)	CRM	50°26'47.4	72°46'17.1	3	4		Marzo 2004
LAS MONEDAS Brazo Rico (Sur)	MON	50°29'53.1	73°00'58.1	10	15	1668 - 1946	Enero 2012
LAS MONEDAS Transecta Brazo Rico (Sur)	LMO	50°30'06.0	73°00'57.5	14	18	1729 - 1956	Enero 2012
LAS MONEDAS Transecta Muerto Brazo Rico (Sur)	TLM	50°30'31.4	72°59'50.7	15	16	1688 - 1963	Enero 2012
				92	143		

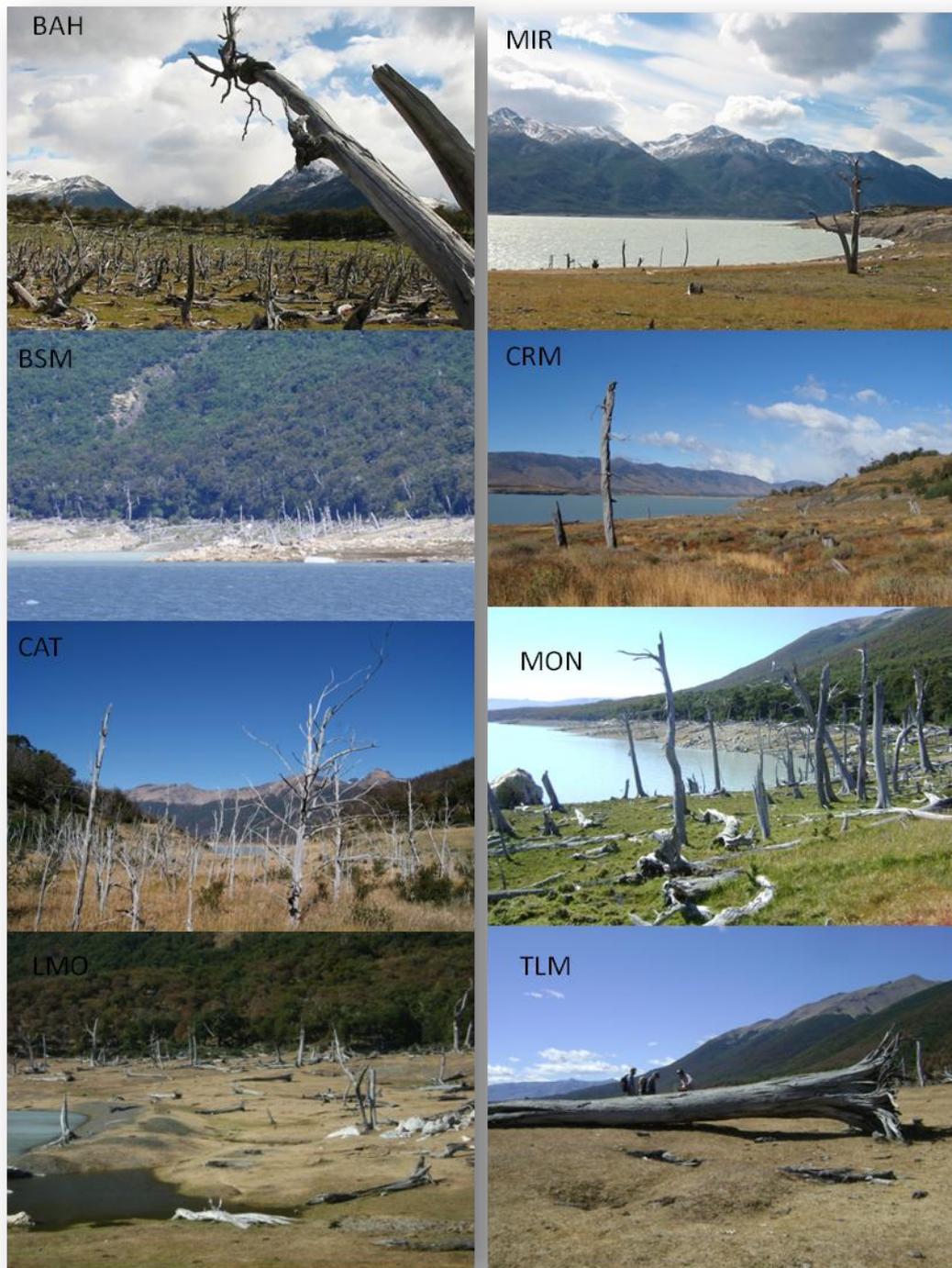


Figura 2. Sitios donde se realizaron los muestreos (ver tabla 2 para el detalle de los códigos).

3.2.2 Procesamiento dendrocronológico de las muestras de barreno de incremento y desarrollo de cronologías de ancho de anillos para *N. pumilio* y *N. betuloides*.

Dada la proximidad geográfica entre las colecciones recientemente realizadas para la cronología de *N. pumilio*, con colecciones previas realizadas por Holmes *et al.* (1976) en el Cerro Buenos Aires, estas mediciones fueron incorporadas al set de datos a analizar. De igual manera para desarrollar la cronología de *N. betuloides*, se incorporaron muestras colectadas por Masiokas y Villalba (2004) en el Glaciar Seco en el Lago Argentino. Esto se realizó con el fin de obtener una mejor señal a nivel regional.

Las muestras tomadas con barreno de incremento fueron procesadas siguiendo las técnicas convencionales empleadas en dendrocronología (Stokes y Smiley 1968). Las muestras fueron transportadas desde el campo en sorbetes plásticos y luego en el laboratorio fueron pegadas sobre reglas de madera con cola vinílica. Una vez el material estuvo seco, se procedió a lijarlas con lijas de grano progresivamente más fino (80-600), para obtener superficies lisas que permitieran la correcta visualización de los anillos de crecimiento (Stokes y Smiley 1968). El fechado visual de las muestras (Yamaguchi 1991) se realizó con la ayuda de lupa binocular (50x), técnica que permite identificar los anillos más delgados. Al armar un listado de los anillos más delgados se logró sincronizar los años cronológicos en las muestras provenientes de distintos árboles. El fechado de los árboles vivos se realizó empleando la convención de Schulman (1956) para el Hemisferio Sur. Esta convención asigna a cada anillo la fecha del año en que comenzó el crecimiento radial.

El ancho de los anillos de crecimiento se midió con una precisión de 0.001 mm con la ayuda de una máquina medidora acoplada a una computadora. La calidad del fechado de las series, como presencia de anillos falsos o anillos ausentes, fueron controlados con la ayuda del programa COFECHA (Holmes 1983). Este software remueve la baja frecuencia de las series, maximiza la variabilidad interanual y compara simultáneamente las curvas de ancho de anillos en ventanas de años superpuestas. De este modo es que el programa puede inferir problemas de fechado cuando hay baja correlación entre periodos de años de una serie en

comparación con una serie maestra (promedio del conjunto de muestras sin la serie a analizar), debido a la posibilidad de ausencia de anillos, presencia de anillos falsos y/o falta de un patrón de anillos esperable a esa porción de tiempo según la serie maestra. El programa también puede establecer la cantidad de años que debe desplazarse una porción de la muestra o “ventana” de anillos para su mejor correlación con la cronología maestra.

Una vez verificada la calidad del fechado, cada serie de ancho de anillos fue estandarizada y luego promediada para generar una cronología del sitio. Las cronologías, en su versión residual y estándar, fueron desarrolladas empleando el programa ARSTAN (Cook 1985). La estandarización involucra el ajuste de una curva o una recta a la serie de ancho de anillos y la generación de índices anuales calculados como el cociente del valor observado y el esperado por el ajuste para cada año. Este procedimiento reduce la varianza entre series y transforma los anchos de anillos en valores de índices adimensionales. La estandarización también remueve o reduce la influencia de variaciones del crecimiento no sincrónicas entre el grupo de muestras así como la tendencia biológica del crecimiento de cada árbol determinada por la variabilidad temporal del ancho de los anillos (por ej., árboles más longevos tienden a tener anillos más angostos que individuos más jóvenes) (Fritts 1976). Para ello se utilizó un destendenciado simple (single detrending) ajustando una función exponencial negativa a cada serie de anchos de anillos.

Los estadísticos analizados fueron los siguientes: “Expressed Population Signal” (EPS) que mide el grado de bondad de la cronología en comparación con una cronología hipotética replicada en forma infinita durante el intervalo óptimo común compartido por al menos 10 series. El estadístico \bar{r} es el coeficiente de correlación medio entre todas las series individuales luego del proceso de estandarización y es independiente del número de radios medidos (Wigley *et al.* 1984). Tanto el \bar{r} como el EPS fueron computados utilizando ventanas móviles de 50 años con solapamientos de 25 años.

Asimismo se evaluaron la correlación entre series, el desvío estándar y la sensibilidad. Este último estadístico usado tradicionalmente en dendrocronología, representa una medida del cambio relativo en variación de ancho de anillos de un año a otro, calculada como la diferencia absoluta entre índices sucesivos dividido por la media de esos dos índices (Fritts 1976).

Estos estadísticos indican en qué medida existen señales comunes en la variación interanual del crecimiento radial entre las muestras que integran cada cronología. Las cronologías maestras obtenidas de esta manera, fueron utilizadas luego, para el datado de las secciones transversales de árboles muertos.

3.2.3 Procesamiento dendrocronológico de las secciones transversales y determinación de fechas de mortalidad

Las secciones transversales provenientes de los árboles muertos, tanto cuñas como rodela, fueron procesadas de la misma manera que las muestras tomada con barreno de incremento. Se transportaron desde el campo, envueltas en cinta de embalar para evitar la pérdida de secciones pequeñas de madera. El montado de las muestras se realizó sobre placas de madera pegadas con cola vinílica. Para el fechado visual se les otorgó un año de establecimiento aleatorio (año 1500) debido a que no se conocía, a priori, la fecha de muerte.

La fecha de mortalidad para cada árbol, fue establecida a través del co-fechado de las secciones transversales, cuñas y/o rodela (Fig. 3 a y b), tomadas de los árboles muertos *in situ*, con las cronologías maestras desarrolladas a nivel local provenientes de árboles vivos, para *N. pumilio* y *N. betuloides* (Punto anterior). Otras cronologías utilizadas para corroborar los fechados de los árboles muertos, fueron las desarrolladas por Villalba *et al.* (2003) a nivel regional para Patagonia Sur y Gleeson (2009) para el Glaciar Heim en el Lago Argentino.

Las mediciones obtenidas de las secciones transversales de árboles muertos (con año de inicio 1500 colocado arbitrariamente) fueron ingresadas al programa COFECHA (Holmes 1983) donde se trató a las series como flotantes y se procedió al fechado por comparación con la serie maestra. Este software realiza un fechado estadístico de las series provenientes de los árboles muertos que consiste en correlacionar las mismas con la cronología de árboles vivos y establecer las fechas de mortalidad con mayor probabilidad de ocurrencia (valores más altos del coeficiente de correlación r). El programa provee en orden decreciente las 10 fechas más probables de ocurrencia de la mortalidad. El fechado final de los árboles muertos resultó de cotejar esta técnica de co - fechado utilizando la cronología maestra de árboles vivos, con el fechado visual.

Las secciones transversales que no pudieron ser datadas presentaron algunos problemas tales como radios muy cortos con insuficiente cantidad de anillos para lograr un fechado estadísticamente consistente con las cronologías maestras y así poder asignarles una fecha de mortalidad. En otros casos, las muestras se encontraban en mal estado de preservación detectado con posterioridad al procedimiento de lijado y pulido, imposibilitando la identificación de anillos de crecimiento (Fig. 3 c y 3 d).



Figura 3. a) Sección transversal (ST) con radios completos b) ST partida con radio completo c) ST en mal estado d) ST con radios muy cortos de pocos anillos para lograr un fechado preciso.

El material proveniente de árboles vivos y muertos, procesado y analizado, fue dejado a resguardo en la colección del Laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) del CCT - CONICET - Mendoza.

3.3 Resultados

3.3.1 Características de las cronologías de ancho de anillos de *N. pumilio* y *N. betuloides*

La cronología de *N. betuloides* con 337 años, período comprendido entre 1675 y 2011, resultó ser más extensa que la correspondiente a *N. pumilio* que alcanzó 278 años cubriendo el período de 1734 a 2011 (Tabla 3). Los estadísticos evaluados para medir la calidad de las cronologías se muestran en la Tabla 3, como el r-bar medio, la Sensibilidad media y la Correlación entreseries. En la Figura 4 se puede apreciar el comportamiento de las series de ancho de anillos para ambas especies y en la Figura 5 se visualizan los valores móviles de r-bar como así también los valores de EPS.

Tabla 3: Estadísticos descriptivos de las cronologías de ancho de anillo de *N. betuloides* y *N. pumilio*.

Especies	Cronología		Datos			Estadísticos			
	Período	Años Totales	N° Árboles	N° Series	N° Anillos	Correlación Interseries	Sens. media	r-bar	Desvío estandar
<i>N. betuloides</i> ¹	1675 - 2011	337	24	54	10362	0.43	0.25	0.15	0.25
<i>N. pumilio</i> ²	1734 - 2011	278	94	139	19050	0.45	0.27	0.18	0.24

¹ incluye los sitios: Las Monedas, desarrollado para esta tesis y Glaciar Seco (Masiokas y Villalba 2004).

² incluye los sitios: Las Monedas, Mirador, Península y Río Camiseta desarrollados para esta tesis y Cerro Buenos Aires (Holmes 1976).

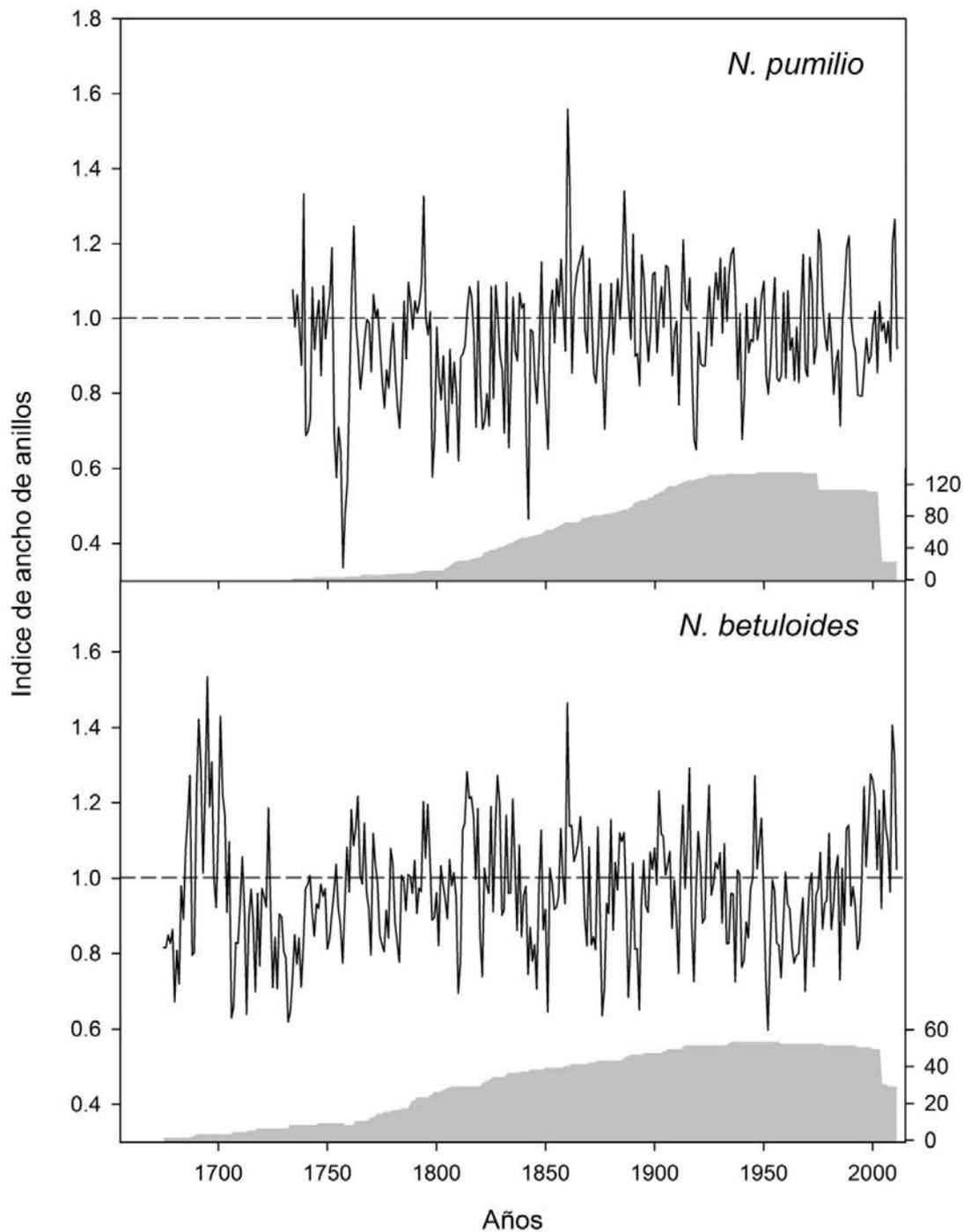


Figura 4. Cronologías de ancho de anillos correspondientes a la versión estándar, desarrolladas para *N. pumilio* y *N. betuloides*. Debajo de cada cronología se encuentra el número de series utilizado en cada año (área gris). El eje Y sobre la derecha indica el número de muestras que componen la cronología.

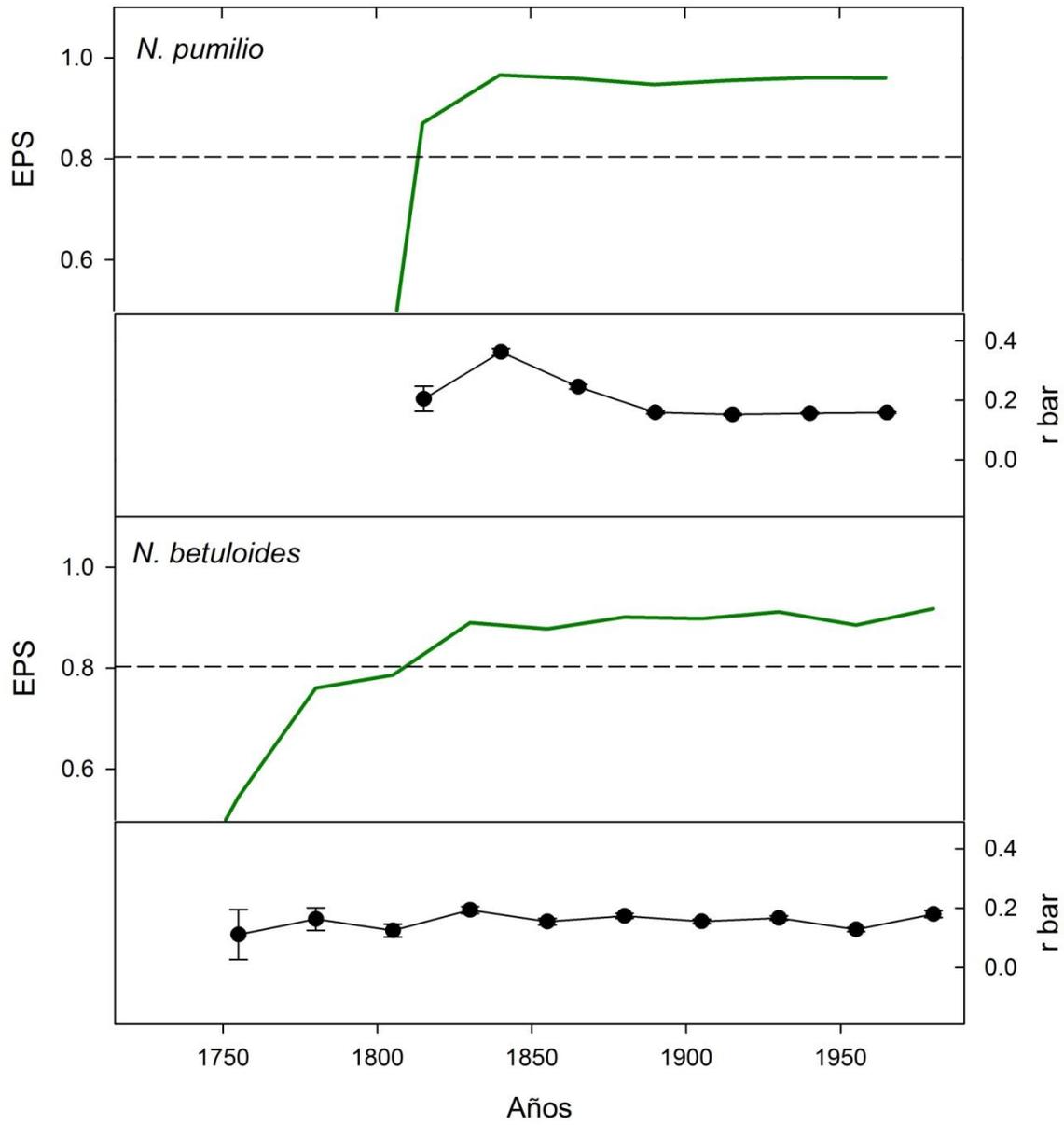


Figura 5. Estadísticos: EPS (curva verde) y *r-bar* móviles (\pm error standard) de las cronologías standard de *N. pumilio* y *N. betuloides*.

3.3.2 Fechado de árboles muertos *in situ*

Se logró fechar un 60% del total de los 92 árboles muestreados, de los cuales 34 árboles corresponden a *N. pumilio* y 21 árboles a *N. betuloides*. Los individuos restantes presentaron mala preservación de la madera y/o secciones con bajo número de anillos de crecimiento, lo que impidió fechar el evento de mortalidad en estos ejemplares, con precisión estadística.

Las inundaciones en el sector Sur del Lago Argentino que produjeron las rupturas del Glaciar Perito Moreno, dieron muerte a árboles en diferentes periodos dentro de los cuales se destacan, por su mayor frecuencia, aquellos comprendidos entre los años 1931 - 1937 y 1946 - 1954 (Fig. 6). Todos los árboles ubicados en las planicies de inundación del cuerpo Sur del Lago Argentino murieron desde inicios del siglo XX hasta el año 1956. Existieron dos pulsos de mortalidad evidenciados por un aumento en la frecuencia de árboles muertos. Un año en que se registró uno de estos pulsos fue el año 1936, cuando ocurrió el primer gran endicamiento según los datos históricos (capítulo II). Otro aumento en la frecuencia de árboles muertos se evidenció alrededor del año 1953, coincidente con los dos grandes endicamientos acontecidos en la década de 1950, correspondiente a los años 1952-1953 y 1954-56 en que el agua alcanzó, el base la información colectada, entre 15 y 23.5 m de altura (Fig. 6). Como se indicó en el Capítulo II, los endicamientos en la década de 1950 fueron los más importantes registrados históricamente. La dispersión de las fechas de mortalidad alrededor de los endicamientos de 1936 y 1952-56 reflejan, muy probablemente, la pérdida por erosión de algunos de los anillos más externos de las secciones transversales, en respuesta al largo periodo de exposición del material leñosos (entre 60 y 80 años) a la intemperie y las inundaciones posteriores a la que ocasionó la muerte de los árboles.

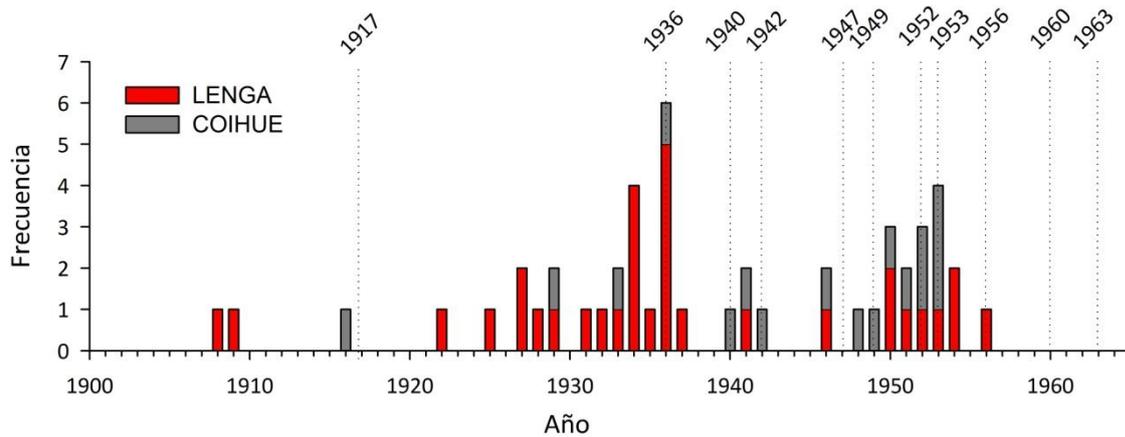


Figura 6. Frecuencia de mortalidad de árboles entre 1900 y 1965 y endicamientos del Glaciar Perito Moreno hasta 1963, en líneas de puntos verticales. No todos los endicamientos produjeron aumentos significativos del nivel de las aguas en los Brazos Rico y Sur, como se indicó particularmente para el endicamiento de 1917.

Al analizar las series de anillos de árboles resultó que las fechas de mortalidad fueron similares para ambas especies, donde los árboles de *N. pumilio* murieron entre 1908 y 1956 y *N. betuloides* entre los años 1898 y 1953 (Fig. 7). Sin embargo, cuando el análisis se realizó para cada sitio muestreado en el caso de *N. pumilio* el patrón mostró períodos más acotados: Las Monedas presentó el mayor rango de fechas de mortalidad 1908 – 1956, (48 años); le siguió Mirador 1913 – 1956 (43 años); luego Bahía Catalana 1929 – 1954 (25 años) y por último Bahía de la balsa 1926 – 1940 (14 años) (Fig. 7). Este patrón reflejó que hubo un espacio temporal de cuatro décadas para los sitios Las Monedas y Mirador durante el cual se produjo la muerte de los árboles mientras que en el caso de Bahía Catalana y Bahía de la Balsa el tiempo fue más acotado, entre dos a tres décadas. Asimismo, la topografía particular de cada sitio de muestreo en relación a su elevación con respecto al nivel de las aguas determinó que el porcentaje de individuos afectado por las inundaciones variara de sitio en sitio.

Para *N. betuloides* si bien el muestreo se realizó en tres sitios (MON, LMO y TLM), dada la proximidad de los mismos se los consideró como una unidad para el análisis, por lo que Las Monedas en su totalidad presentó un rango de fechas de mortalidad entre 1898 y 1953 (55 años). (Fig. 7).

Cuando se visualizaron las frecuencias de mortalidad en el contexto de la extensión del periodo cubierto por las series de anillos de árboles, se pudo observar que el período de alta mortalidad se circunscribió a un corto lapso de tiempo correspondiente a unos 50 años (Fig. 7 panel inferior).

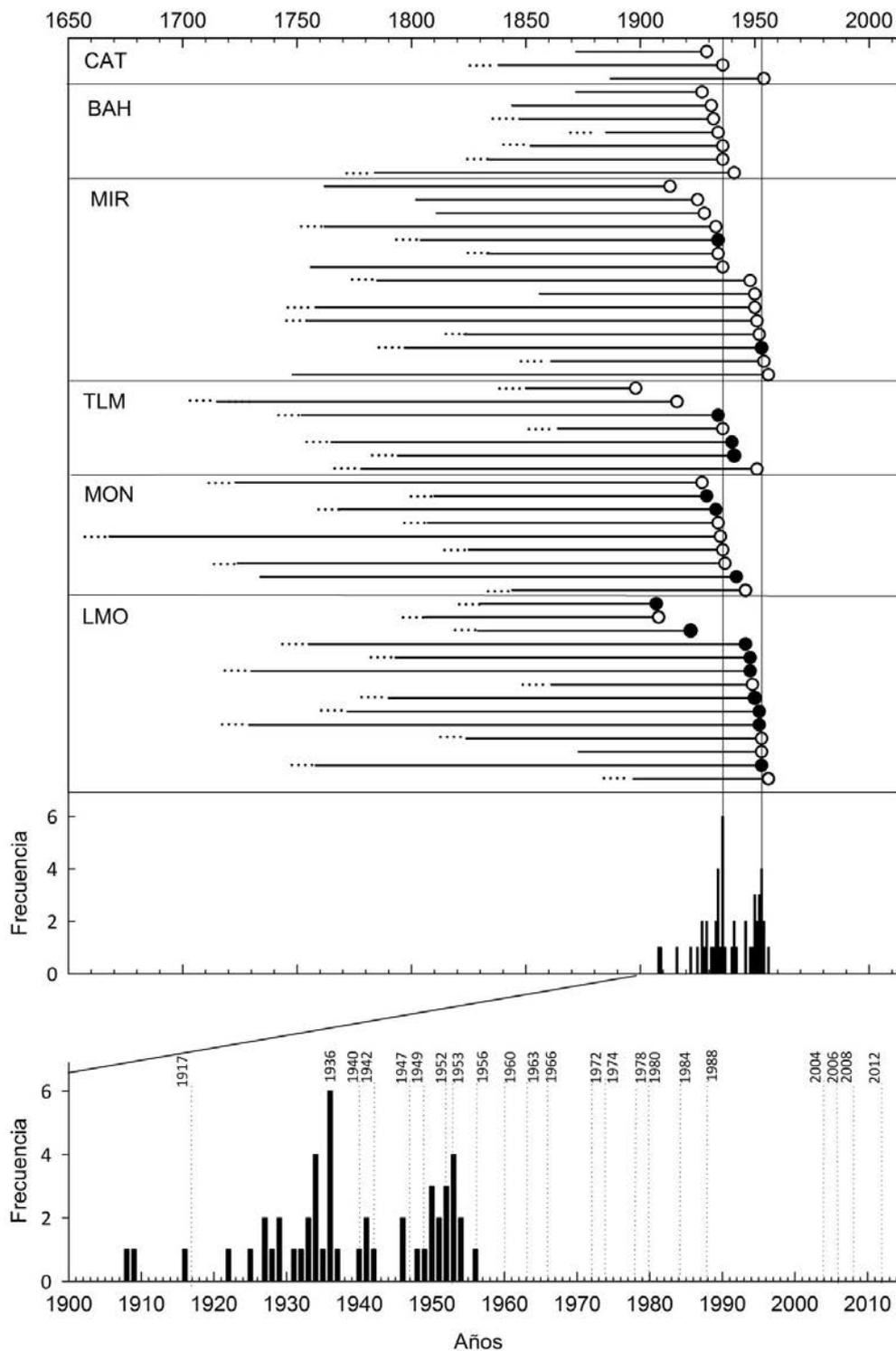


Figura 7. Establecimiento y mortalidad de árboles muertos en pie en las áreas afectadas por las inundaciones. Series de anillos por árbol: barras horizontales. Fecha de establecimiento: línea plena, árbol con médula y puntos suspensivos cuando la sección transversal del tronco no presenta centro. Fecha de mortalidad: círculos negros, árbol con corteza, blancos sin ella. Panel intermedio e inferior: frecuencia de mortalidad de árboles, líneas verticales punteadas indican los años de eventos de rupturas del Glaciar Perito Moreno.

Al analizar la totalidad de árboles fechados dendrocronológicamente se encontró un rango de mortalidad para todos los sitios muestreados de 58 años, período durante el cual murieron la mayoría de los árboles que permanecen hoy en pie en las costas de los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino, debido a las inundaciones periódicas producidas por el Glaciar Perito Moreno. Árboles muertos hace más de 60 años, sorprendentemente, presentan en la actualidad, corteza en partes del fuste (puntos negros llenos (Fig. 7). En general, la corteza se ha mantenido en sectores del fuste superior en la cara orientada al Este del árbol, la cual está más al resguardo de los vientos predominantemente provenientes del Oeste. De los árboles muestreados el 66.6 % de *N. betuloides* (14 ejemplares) presentaron corteza, mientras que en el caso de *N. pumilio* el porcentaje que mantuvo la corteza fue menor, 8 % (solamente 3 individuos) (Fig. 8 a y b).

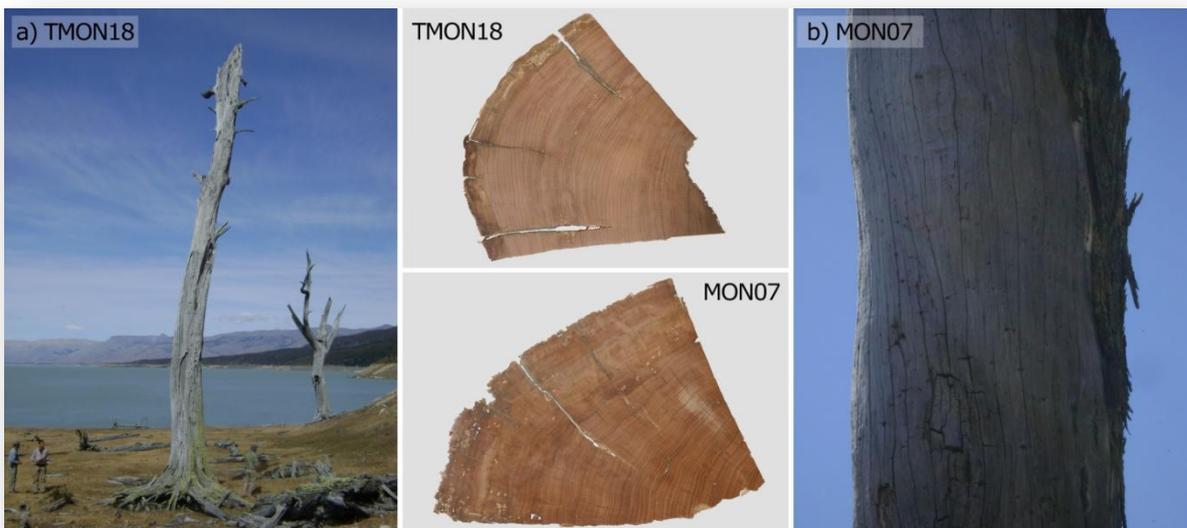


Figura 8 a) *N. pumilio* con corteza en el fuste superior (nótese dos personas como referencia en sector izquierdo abajo) b) *N. betuloides* con corteza en el fuste superior. En el centro las respectivas secciones transversales.

Según el análisis dendrocronológico las fechas de establecimiento de los árboles de *N. betuloides* fueron entre los años 1715 y 1873, mientras que los individuos de *N. pumilio* cubrieron un rango temporal mayor de establecimiento, con años desde 1668 hasta el año 1897 (Fig. 9). El establecimiento fue, en general, homogéneo salvo entre las décadas de 1670 al 1700 en que no se registraron árboles. La década en que más árboles se establecieron fue en 1750 con 5 árboles, seguida por 1760, 1790, 1800, 1820 con 4 árboles por década (Fig. 9).

En cuanto a las fechas de establecimiento de los árboles se deben distinguir aquellos árboles que presentaron el centro completo (línea plena en las series de árboles) (Fig. 7) de aquellos que perdieron el centro por podredumbre, (puntos suspensivos en las series de árboles) (Fig. 7), lo que implica que cuando las muestras de secciones transversales o rodela no presentaron centro se estaría en presencia de fechas aún más longevas de establecimiento. Por lo tanto, las fechas de establecimiento deberían ser consideradas como orientativas, ya que en algunos casos el establecimiento podría haber ocurrido varias décadas antes. Es importante destacar que no se hicieron correcciones por altura de muestreo, otro factor que apoyaría la idea de un establecimiento anterior al resultante del co-fechado de las series de anchos de anillos en las muestras provenientes de los árboles muertos.

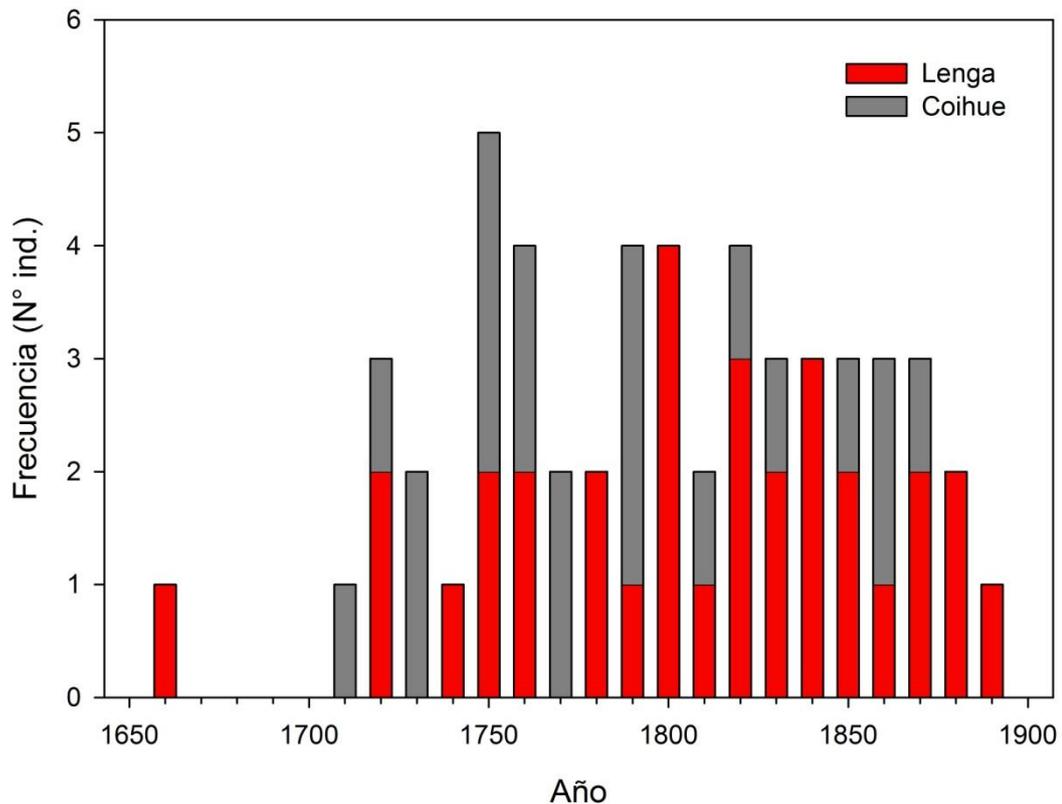


Figura 9. Frecuencia de establecimiento de los árboles muertos en pie, desde el año 1650 hasta 1900.

La edad de los árboles que aún permanecen muertos en pie en las márgenes de los brazos del cuerpo Sur del Lago Argentino, tiene un promedio de 125 años, con un rango entre 38 y 267 años. Esto nos indica que hubo árboles que pudieron crecer por más de 250 a 300 años antes de producirse los endicamientos que causaran su muerte (Tabla 5). En la Figura 10 se muestran los árboles que presentaron la fecha de establecimiento más longeva ubicados en franjas altitudinales separadas cada 2 m, según se encuentran los ejemplares en el terreno con respecto al nivel del lago sin endicamiento.

Tabla 5: Fechas estimadas de establecimiento y edad máxima, con más de 200 años, para ejemplares de *N. pumilio* y *N. betuloides*

SITIO	ABREVIACIÓN	ESPECIE	ESTABLECIMIENTO	EDAD (*)	MÉDULA
Mirador	MIR12	Lenga	1748	208	NO
Las Monedas	MON01	Lenga	1724	213	NO
	MON05	Lenga	1668	267	NO
	MON06	Lenga	1723	204	NO
	TLM07	Lenga	1734	203	NO
	MON03	Coihue	1734	208	SI
	LMO15	Coihue	1729	223	NO
	LMO16	Coihue	1730	218	NO

(*) Edad en años determinada a partir de las fechas de establecimiento y mortalidad

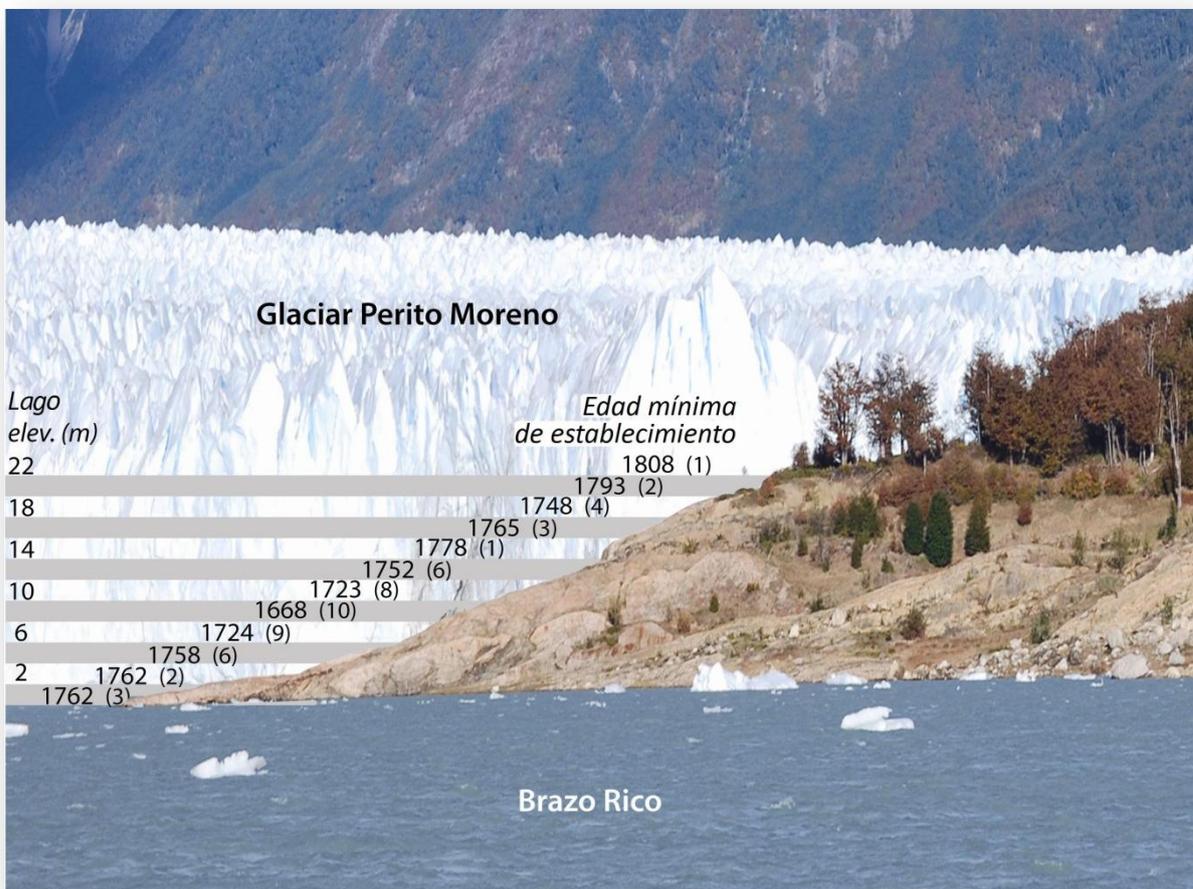


Figura 10. Fecha mínima de establecimiento de los árboles, ubicados según su elevación sobre el nivel normal o regular del lago (sin endicamiento). El número de árboles fechados se muestra entre paréntesis.

3.3.3 Reconstrucción de eventos de endicamientos

La reconstrucción parcial de las fechas de endicamientos provocados por el Glaciar Perito Moreno se determinó de acuerdo a la posición *in situ* de los árboles muertos en pie y la fecha de muerte de cada árbol (Fig. 11).

En el sitio Las Monedas el 100% de los árboles ubicados en cotas bajas (a menos de 14 m) reportaron fechas de muerte entre 1907 – 1953. En este sitio el 80% de las fechas de muerte de los árboles fue coincidente con las fechas de los primeros endicamientos registrados en los años 1936, 1940 y 1942, donde la altura del agua no sobrepasó, en base a los documentos históricos, los 14 m. Sólo un 4%, ubicado en la misma cota, presentó fechas de muerte correspondientes a endicamientos posteriores 1949, 1952 y 1953 (Fig. 11).

En el sitio Mirador para la misma cota, por debajo de los 14 metros, el 100% de los árboles presentó fechas de muerte entre 1913 – 1954. El 50% coincidió con las fechas de los primeros endicamientos (1936 al 1942) y el 50% restantes con los endicamientos que presentaron alturas mayores de cota (1952 - 1953). Para el sitio Brazo Sur la mayoría de los árboles se ubicaron en la cota por debajo de los 10 m y cubrieron un rango temporal desde 1916 a 1948 y para el sitio Bahía Catalana, en la misma cota las fechas de muerte fueron 1935 a 1952 (Fig. 11).

A medida que los árboles se situaron en cotas más altas (entre 14 a 23 m) las fechas de muerte reportadas para Las Monedas fueron entre 1940 a 1956, donde la mayoría de las fechas correspondieron con la década de 1950. Solamente un árbol, con fecha 1898, quedó fuera del rango de fechas de muertes relacionado a los endicamientos.

Para este mismo rango de alturas (14 a 23 m) en el sitio Mirador se encontró sólo un árbol el cual fue fechado en el año 1956. El sitio Brazo Sur también presentó sólo un árbol en esa cota con fecha de muerte 1950 y en Bahía Catalana no aparecieron árboles a alturas superiores a los 5 m.

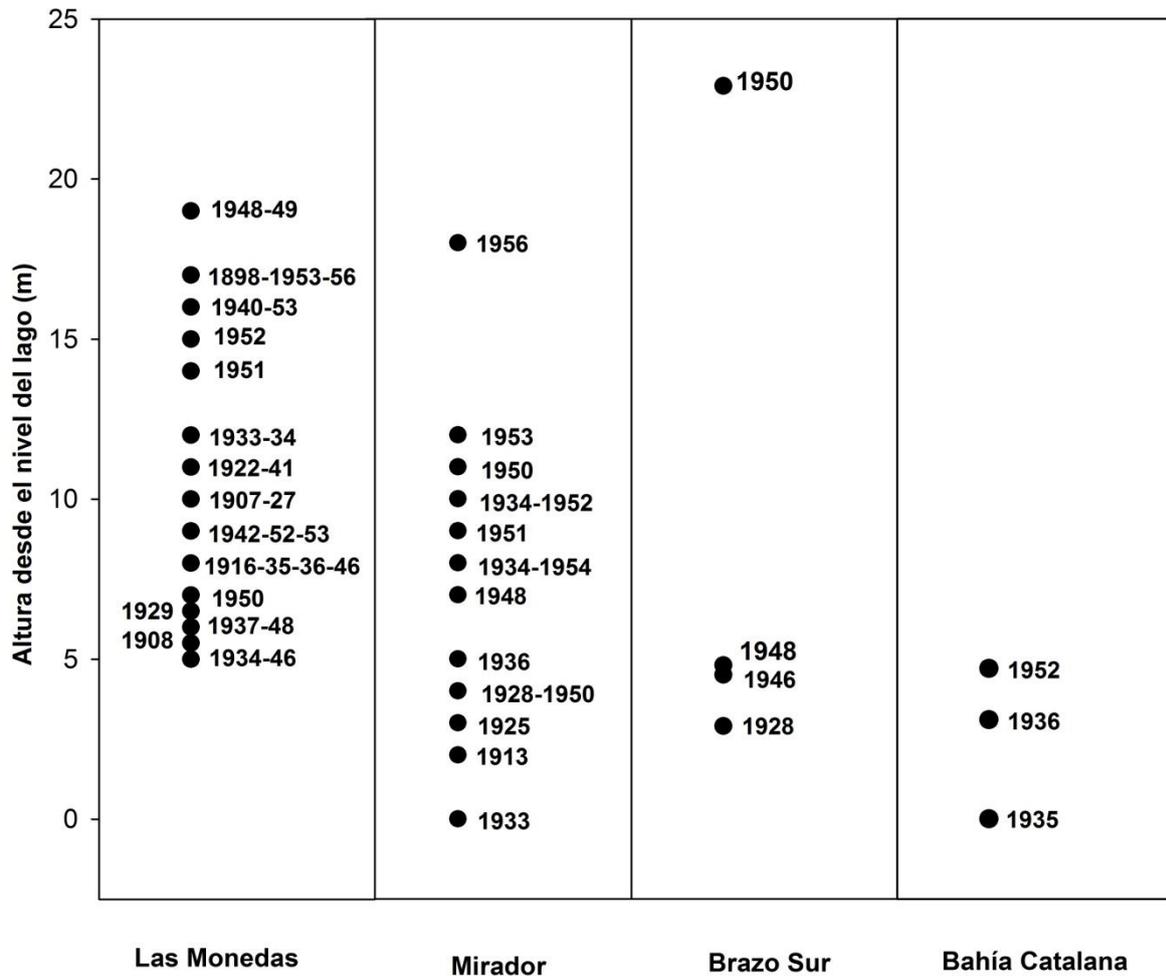


Figura 11. Fechas de mortalidad y posición de cada árbol con respecto a la altura alcanzada por el agua en los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino para cuatro sitios de muestreo.

A modo de ejemplo, de cómo el agua habría afectado a los árboles en cada evento de inundación, la fotografía de la Figura 12 muestra un ejemplar de *N. betuloides* en el sitio Las Monedas ubicado al borde de la “resaca” que tuvo las raíces en contacto con el agua. El año en que el agua de la inundación, según datos históricos, llegó al nivel máximo fue en 1956. De este árbol TMON01 se tomaron 5 muestras con barreno de incremento. El radio a corresponde al lado del árbol orientado hacia el interior del bosque, los radios b y e corresponden al sector del árbol que estuvo en contacto con el agua y los radios c y d provienen de los

laterales del árbol. El radio c resultó ser una muestra muy corta por lo que no se tuvo en cuenta.

En las series de ancho de anillo de estos radios se destacó el año 1956 con un línea vertical discontinua (Fig. 13) y para los 25 años previos y posteriores a este evento de inundación se calculó el crecimiento medio para establecer si hubo una reducción y/o incremento en el crecimiento anual de los anillos. Para el radio a se observó una liberación del 95 % producto de la mortalidad de los árboles vecinos que dejaron mayor cantidad de recursos disponibles al sector sano, no dañado del árbol. En el caso de los radios b y e, una reducción de 59 % y 38 %, respectivamente, proviene de la muerte de las raíces y la destrucción de la corteza en ese sector en contacto con el agua, mientras que el radio d muestra un patrón intermedio, con un porcentaje de reducción del 18 % al provenir del sector lateral del árbol (Fig. 13).



Figura 12. Ejemplar de *N. betuloides* al borde de la resaca (altura máxima alcanzada por las aguas del lago) con parte de las raíces y fuste bajo erosionados por el agua

y el material transportado por el lago. Nótese una persona detrás para escala del diámetro (1.66 m DAP).

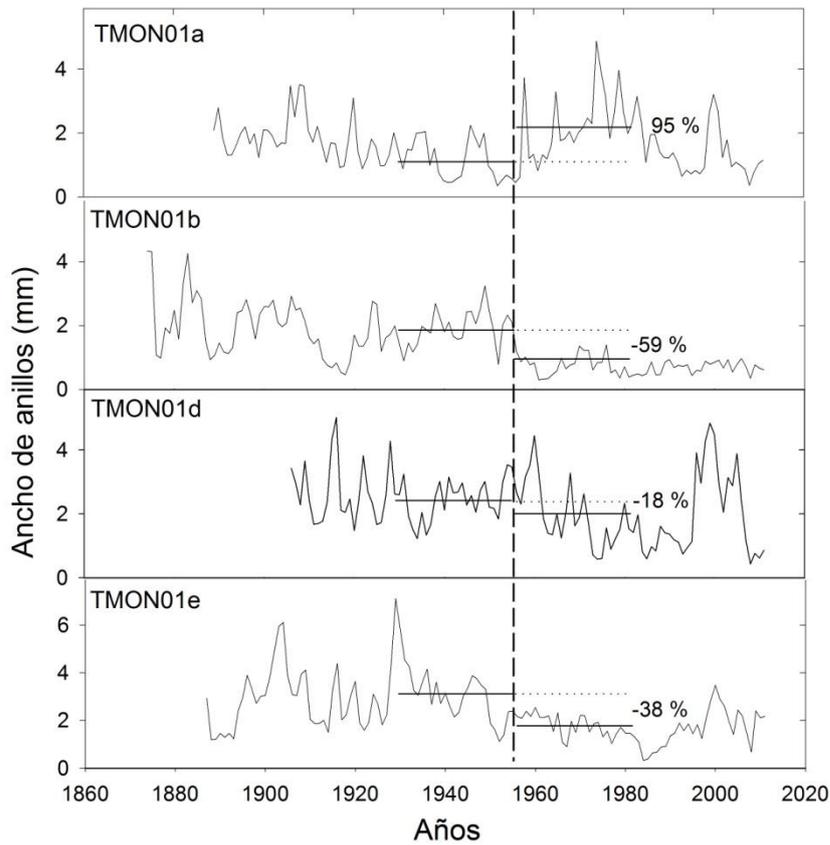


Figura 13. Series de ancho de anillo para cuatro radios del árbol TMON01 ubicado al borde del límite alcanzado por el agua. Líneas horizontales muestran el promedio de crecimiento durante los 25 años previos y posteriores al año 1956 (línea vertical discontinua), a la derecha porcentaje de cambio en el crecimiento.

3.4 Discusión

Cronologías

Un aporte directo de esta tesis es el desarrollo de nuevas cronologías para dos de las especies de *Nothofagus* existentes a nivel regional. La mayoría de las cronologías de anillos de crecimiento han sido desarrolladas para el Norte de Patagonia, por lo que conocer los patrones de crecimiento de estas especies en localizaciones más al Sur es relevante. En este trabajo, se actualizó luego de 36 años, la cronología de *N. pumilio* realizada por Holmes y Boninsegna colectada en el año 1976 del cerro Buenos Aires, en la Península de Magallanes, Lago Argentino. Cabe destacar que esta cronología fue la primera realizada para esta especie en América del Sur (Holmes *et al.* 1979).

A pesar de las dificultades que presenta *N. pumilio* con la presencia de individuos con el centro de los futes podridos, se pudieron confeccionar cronologías de larga extensión y confiabilidad estadística. Los valores de autocorrelación, que representa una medida de la influencia de años previos en el crecimiento de un anillo en particular, resultaron comparativamente medios a bajos con 0.43 para *N. betuloides* y 0.45 para *N. pumilio* en relación a otras cronologías de estas especies en la Patagonia (Boninsegna *et al.* 1989). Para *N. pumilio* en el Glaciar Heim, Lago Argentino, el valor de autocorrelación fue de 0.62 (Gleeson 2009). Para la misma especie, pero en la Patagonia Norte, los valores reportados son de 0.48 en Challhuaco (Rodríguez Catón 2013); 0.53 en Paso de las Nubes; 0.56 en La Almohadilla y 0.60 en Diego de León (Lavergne, en preparación). Valores de autocorrelación reportados para *N. betuloides* en Tierra del Fuego varían entre 0.62 en Harberton; 0.70 en Bahía Crossley, Isla de los Estados; 0.76 en Bahía del Buen Suceso y 0.83 en Río Moat (Boninsegna *et al.* 1989).

La sensibilidad media de las cronologías desarrolladas en este trabajo es de 0.25 para *N. betuloides* y 0.27 para *N. pumilio*, lo que indica una variabilidad intermedia en el ancho de los anillos de crecimiento. Tradicionalmente, una sensibilidad mayor a 0.3 es considerada alta, y ha sido asociada a una fuerte respuesta del crecimiento radial al clima (Shiyatov 1986). La sensibilidad media de *N. pumilio* en el Glaciar Heim fue de 0.24 (Gleeson 2009), menor que la reportada

en este trabajo. Mientras que en el caso de Patagonia Norte los valores reportados son mayores oscilando entre 0.29 y 0.30 (Rodríguez Catón 2013); 0.30 para Paso de las Nubes y 0.32 para La Almohadilla y Diego de León (Lavergne, en preparación). La sensibilidad media de *N. betuloides* reportada para cronologías en Tierra del Fuego oscila entre 0.21 en Río Moat; 0.25 en Bahía del Buen Suceso y 0.44 en Harberton (Boninsegna *et al.* 1989).

Los r -bar medio tuvieron valores de 0.16 para *N. betuloides* y 0.20 para *N. pumilio* los que podrían considerarse medios a bajos. Valores de r -bar medio de 0.23, 0.30 y 0.44 fueron reportados para tres cronologías regionales de *N. pumilio* en Patagonia Norte por Rodríguez Catón (2013). En Paso de las Nubes el r -bar fue de 0.30; 0.38 en La Almohadilla y 0.44 en Diego de León (Lavergne, en preparación). Mientras que el valor de r -bar correspondiente al Glaciar Heim fue aún mayor 0.54 (Gleeson 2009).

Con respecto a los valores de EPS, el umbral de aceptación es de 0.80 o 0.85 según Briffa y Jones (1990) y Wigley *et al.* (1984) respectivamente. La cronología de *N. betuloides* presentó valores entre 0.80 – 0.90 para un período comprendido entre los años 1810 a 1980, mientras que *N. pumilio* presentó valores más altos entre 0.80 – 0.96 para un período comprendido entre los años 1813 a 1966. Valores por encima de 0.89 fueron reportados para esta última especie en Patagonia Norte en un período desde los años 1895/1930 hasta el año 2008 (Rodríguez Catón 2013). Los valores por debajo del umbral de aceptación para el inicio de ambas cronologías, se deben a la baja cantidad de muestras para ese período.

Si bien *N. betuloides* ha sido utilizado satisfactoriamente en reconstrucciones climáticas en Tierra del Fuego, (Boninsegna *et al.* 1989; D'Arrigo y Villalba 2000) no existían cronologías a nivel local. Las nuevas cronologías serán incorporadas, a la base de datos mundial <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring> y ser utilizadas en estudios posteriores, tanto en dinámica de bosques como en investigaciones paleo climáticas.

Las cronologías desarrolladas en este trabajo resultaron vitales para el fechado de los árboles muertos por las inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno. Los estadísticos y análisis previos muestran que las cronologías desarrolladas son de muy buena calidad y adecuadas para ser empleadas en el co-

fechado del material muerto por las inundaciones creadas por el Glaciar Perito Moreno.

Fechado de árboles: mortalidad

Del total de árboles muestreados fue posible fechar un 60%, los ejemplares seleccionados fueron aquellos que presentaron radios lo suficientemente largos con un número importante de anillos de crecimiento para posibilitar un fechado con confiabilidad estadística, como fue descrito en el apartado precedente.

El agua acumulada durante los endicamientos provocados por la dinámica de cierres, embalses y rupturas del Glaciar Perito Moreno ocasionó la muerte de los árboles. La primera vez que el frente del glaciar alcanzó la Península de Magallanes en el año 1917, registrado por documentos históricos (capítulo II), no produjo endicamiento de las aguas en el cuerpo Sur del Lago Argentino. Por lo cual la mortalidad de los árboles comprendió el lapso entre el primer endicamiento documentado en el año 1936 y los eventos durante los cuales se registraron las mayores alturas del nivel del agua del cuerpo Sur del Lago Argentino en los años 1952, 1953 y 1956. Según los resultados del fechado dendrocronológico, la mayoría de los árboles en pie murieron durante un período de aproximadamente 60 años. Ambas especies, tanto *N. betuloides* como *N. pumilio*, mostraron rangos de fechas de mortalidad similares, entre los años 1898 hasta 1956, si bien para cada sitio el lapso de mortalidad varió entre tres a cinco décadas. Es posible que árboles muertos antes de 1898 no se hayan conservado hasta el momento en que se realizó el muestreo. Según la frecuencia de árboles muertos, la mayor concentración de mortandad de árboles ocurrió en dos eventos principales, centrados alrededor de 1936 y 1953. Lo cual denota que los eventos de disturbio que provocaron la muerte fueron sincrónicos. Posteriormente a las rupturas de 1952, 1953 1956 a pesar de haber continuado la dinámica de endicamiento y rupturas causadas por el Glaciar Perito Moreno, no se produjo mortalidad de árboles debido a que el nivel del agua no sobrepasó los niveles anteriores.

Si bien el fechado dendrocronológico de árboles resultó ser una técnica poderosa para detectar los eventos de inundaciones, en este caso provocados por un glaciar, cabe destacar que la señal de la inundación puede producir supresiones

y/o liberaciones en un mismo ejemplar dependiendo del sector de donde se obtengan las muestras, como se mostró en el caso particular del árbol ubicado al borde del nivel máximo alcanzado por el agua.

Fechado de árboles: establecimiento

En cuanto a las fechas de establecimiento, las muestras fueron tomadas en su mayoría a un altura aproximada de 1.5 m de la base, por lo que las fechas reportadas son orientativas, ya que no se incluyeron los años que tardó cada individuo en alcanzar la altura de toma de la muestra. Además, el 78% de los árboles perdió los anillos internos por pudrición de la madera, por lo cual las fechas de establecimiento resultantes son, en todos los casos, posteriores a las reales. Teniendo en cuenta esta salvedad, los ejemplares de *N. betuloides* se establecieron entre los años 1716 y 1861, y los árboles de *N. pumilio* de establecieron desde 1668 hasta 1897. De esta manera el establecimiento de los árboles sucedió durante un lapso de tiempo mayor a los 229 años registrados por medio de los anillos de árboles. Estos dos siglos durante los cuales se establecieron árboles denota la ausencia de endicamientos y por ende rupturas provocadas por el Glaciar Perito Moreno, lo cual valida lo expuesto en el capítulo II de esta tesis, donde por medio de recopilación de documentación histórica, tanto relatos descriptivos de naturalistas como fotografías, se pudo corroborar que la costa del Brazo Rico estaba cubierta por bosque previamente al primer evento de endicamiento anterior a la ruptura del año 1936.

Es así que los fechados dendrocronológicos con resolución anual permitieron complementar la historia de los eventos de endicamiento y rupturas provocados por el Glaciar Perito Moreno en el contexto de los últimos tres siglos. Sin embargo, según los resultados reportados por Aniya y Skvarca (2012) basados en técnicas de radiocarbono establecieron fechas de muerte para los árboles que permanecen en pie en las costas del Brazo Rico, relacionadas a la Pequeña Edad de Hielo. De acuerdo a los fechados radiocarbónicos la muerte de los árboles habría ocurrido hacia el año 1650 a 1800 lo cual resulta inconsistente con los resultados hallados en esta tesis. Teniendo en cuenta el grado de error atribuible a la técnica de fechado por radiocarbono que oscila entre los 50 – 100 años y la gran incertidumbre para

fechados en los últimos 500 años (Masiokas *et al.* 2010), es que la dendrocronología, con resolución anual, resulta una metodología más acertada para el fechado de árboles, hecho que en este caso es confirmado por los estudios realizados a partir de evidencias históricas.

3.5 Bibliografía

Aniya, M. Skvarca, P. (1992) Characteristics and variations of Upsala and Moreno glaciers, southern Patagonia. *Bulletin of Glacier Research* 10, 39–53.

Aniya, M. Skvarca, P. (2012) Little Ice Age advances of Glaciar Perito Moreno, Hielo Patagónico Sur, South America. *Bulletin of Glaciological Research* 30, 1–8.

Armesto, J.J. Casassa, G. Dollenz, O. (1992) Age structure and dynamics of Patagonian beech forests in Torres del Paine National Park , Chile. *Vegetatio* 98, 13–22.

Boninsegna, J.A. Keegan, J. Jakoby, G.C. D'Arrigo, R.D. Holmes, R.L. (1989) Dendrochronological studies in Tierra del Fuego, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 7, 305–26.

Briffa, K. Jones, P.D. (1990) Basic chronology statistics and assessment, in: Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (Eds.), *Methods of dendrochronology Applications in the environmental science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 240 – 247.

Clapperton, C.M. (1993) *Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Elsevier., Amsterdam.

Cook, E. (1985) *A time series analysis approach to tree-ring standardization*. University of Arizona, Tucson.

Cook, E. (1987) The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47, 37–59.

D'Arrigo, R.D. Villalba, R. (2000) Review of dendroclimatic research at high latitudes in South America: Indicators of atmosphere-ocean climate variability, in: Roig, F.A. (Ed.), *Dendrochronology in Latin America*. EDIUNC, Mendoza, pp. 271–82.

Fritts, H. (1976) *Tree rings and climate*. Academic Press, London.

Fritts, H. Swetnam, T. (1989) Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Advances in Ecological Research* 19, 111–88.

Gleeson, E. (2009) *Toward a hydroclimatic reconstruction for the Río Santa Cruz, Patagonia, Argentina*. University of Bern, Bern, 1–70 pp.

Gottesfeld, A.S. (1996) British Columbia flood scars, maximum flood-stage indicators. *Geomorphology* 14, 319–25.

Heim, A. (1951) Informe sobre un estudio glaciológico en el Parque Nacional Los Glaciares. Administración general de Parques Nacionales. República Argentina 15.

Holmes, R.L. (1983) Computer- assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree Ring Bulletin* 43, 69 – 75.

Holmes, R.H. Ambrose, J.E. Boninsegna, J.A. (1976) Tree-Ring Chronologies of the Southern Hemisphere. Argentina., En: Chronology Series V Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1979 pp. 70.

Kitzberger, T. Veblen, T.T. Villalba, R. (2000) Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica., in: Roig, F. (Ed.), Manual Latinoamericano de Dendrocronología. Editorial de la Universidad de Cuyo, Mendoza.

Langlais, D. Bégin, Y. (1993) The Effects of Recent Floods and Geomorphic Processes on Red Ash Populations, Upper St Lawrence Estuary, Québec. Estuarine Coastal and Shelf Science 37, 525–38.

Lavergne, A. (en preparación) Adaptability of trees from Patagonia in southern South America and paleoclimate reconstructions using tree-ring width and isotopic composition of cellulose.

Masiokas, M. Villalba, R. (2004) Climatic significance of intra-annual bands in the wood of *Nothofagus pumilio* in southern Patagonia. *Trees* 18, 696–704

Masiokas, M.H. Luckman, B.H. Villalba, R. Ripalta, A. Rabassa, J. (2010) Little Ice Age fluctuations of Glaciar Río Manso in the north Patagonian Andes of Argentina. *Quaternary Research* 73, 96–106.

Mercer, J.H. (1968) Variations of some Patagonian glaciers since the Late-Glacial. *American Journal of Science* 266, 91–109

Meyer, G.A. (2001) Recent large-magnitude floods and their impact on valley-floor environments of northeastern Yellowstone. *Geomorphology* 40, 271–90

Moore, D.M. (1983) Flora of Tierra del Fuego. Anthony Nelson. England. Missouri Botanical Garden. USA, Oswestry, St Louis, 404 pp.

Nowacki, G.J. Abrams, M.D. (1997) Radial-Growth Averaging Criteria for Reconstruction Disturbance Histories from Presettlement-Origin Oaks. *Ecological Monographs* 67, 225–49.

Parques Nacionales, A. (1997) Plan Preliminar de Manejo Parque Nacional Los Glaciares. Administración de Parques Nacionales, 173 pp.

Perez Moreau, R. (1959) Reseña Botánica sobre el Lago Argentino. Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico. 3, 58.

Raffo, J.M. Colqui, B.S. Madejski, M.E. (1953) Glaciar Moreno. *Revista Meteoros*. Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional. 3, 293–341.

Rodriguez Catón, M. (2013) Influencia de las variaciones climáticas en el decaimiento de bosques de *Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl.) Krasser en el norte de la Patagonia Argentina. Universidad Nacional de Cuyo, 213 pp.

- Rubino, D.L. McCarthy, B.C. (2004) Comparative analysis of dendroecological methods used to assess disturbance events. 3, 97–115.
- Schulman, E. (1956) Dendroclimatic change in semiarid America. University of Arizona Press, Tucson.
- Shiyatov, S. (1986) Dendrochronology of the higher timber line on the Urals, Nauka, Moscow. .
- Skvarca, P. Naruse, R. (1997) Dynamic behavior of Glaciar Perito Moreno, southern Patagonia. *Annals of Glaciology* 24, 268 – 271.
- Stokes, M.A. Smiley, T.L. (1968) An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press, Illinois, 73 pp.
- Stuefer, M. Rott, H. Skvarca, P. (2007) Glaciar Perito Moreno, Patagonia: climate sensitivities and glacier characteristics preceding the 2003/04 and 2005/06 damming events. *Journal of Glaciology* 53, 3–16
- Veblen, T.T. Donoso, C. Kitzberger, T. Rebertus, A. (1996) Ecology of Southern Chilean and Argentinean Nothofagus forest, 10, 293-353 in: Veblen, T.T., Hill, R.S., Read, J. (Eds.), *The Ecology and Biogeography of Nothofagus forest*. Yale University Press, New Haven and London.
- Villalba, R. Lara, A. Boninsegna, J.A. Masiokas, M. Delgado, S. Aravena, J.C. Roig, F.A. Schmelter, A. Wolodarsky, A. Ripalta, A. (2003) Large-scale temperatura changes across the Southern Andes 20th century variations in the context of the past 400 years. *Climatic Change* 59, 177–232.
- Wigley, T. Briffa, K. Jones, P.D. (1984) On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23, 201 – 213.
- Yamaguchi, D.K. (1991) A simple method for cross dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research* 21, 141–146.
- Zielonka, T. Holeksa, J. Ciapała, S. (2008) A reconstruction of flood events using scarred trees in the Tatra Mountains, Poland. *Dendrochronologia* 26, 173–83.

Capítulo IV

Recolonización del bosque en las costas lacustres afectadas por las inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno.

*Bosque
Tupido y verde
Chubascos intermitentes
Orquídeas tapizan el suelo
CG*



Costa del Brazo Rico a 7 km del frente del Glaciar Perito Moreno, con recolonización arbórea en áreas previamente inundadas.

Contenidos

4.1 Introducción

4.2 Métodos

4.2.1 Área de estudio y parcelas de muestreo

4.2.2 Colección y procesamiento dendrocronológico de muestras y determinación de las fechas de establecimiento y mortalidad

4.2.3 Análisis de la información

4.3 Resultados

4.3.1 Estructura y composición de las parcelas de muestreo

4.3.2 Patrones temporales de establecimiento

4.3.3 Patrones espaciales de distribución

4.4 Discusión

4.5 Bibliografía

4.1 Introducción

Cada vez que un disturbio sucede en un sector del bosque, ya sea por causas antrópicas o naturales (fuego, retrocesos glaciares, modificación de líneas de costas, avalanchas) se crean nuevas superficies libres donde la vegetación inicia diferentes procesos de colonización desde localizaciones vecinas a partir de los propágulos (semillas, plántulas, raíces) que quedaron o son transportados al sector alterado. La velocidad de recolonización puede ser altamente variable dependiendo de diversos factores tales como 1) variaciones climáticas, 2) características y nutrientes del sustrato, 3) distancia a los árboles semilleros, 4) elevación, exposición, pendiente, 5) propágulos remanentes, entre otros (Kitzberger, Veblen y Villalba. 2000; Villalba 2000). La escala y el tiempo transcurrido luego del disturbio juegan un papel preponderante y estos pueden ser inferidos o estimados a partir del análisis de estructura de edades y patrones espaciales poblacionales. Otro factor a tener en cuenta son las particularidades de cada especie como las asociadas a las diferencias en la tolerancia a distintas intensidades lumínicas o sus velocidades de crecimiento (capacidad competitiva; Veblen *et al.* 1996; Fajardo y Alaback 2005).

Entre los modos de regeneración en bosques méxicos se pueden citar i) el tipo catastrófico, ii) de claros y iii) continuo. El primero está caracterizado por un reclutamiento en un período relativamente corto luego de una liberación repentina de recursos, generalmente asociado a disturbios exógenos y devastadores del rodal (inundaciones, fuego, avalanchas). En estos casos las poblaciones suelen ser inicialmente coetáneas. El segundo modo está asociado a la caída individual de árboles, o pequeños grupos de árboles que abren el dosel a escala puntual o concreta, también liberando recursos y creando oportunidades de establecimiento, pero en este caso como respuesta a procesos endógenos (Rebertus y Veblen 1993). El tercero, sucede cuando los árboles son capaces de alcanzar la madurez en ausencia de disturbios donde el requerimiento de recursos es bajo y uniforme en el espacio y tiempo disponibles (Veblen, Kitzberger y Villalba 2005).

Si bien existen modelos matemáticos de la regeneración de los bosques en escalas regionales o sub-continetales, no alcanzan en muchos casos a tener validez local dada la dificultad de medir o evaluar todos los factores que afectan a la regeneración, como son la producción de semillas, dispersión, germinación,

sobrevivencia, condiciones de suelo, climáticas y de competencia, entre otras (Miina, Eerikainen y Hasenauer 2006). En estudios de campo se ha observado claramente que el tipo y magnitud de un disturbio, así como las condiciones de sitio, son relevantes al momento de predecir la recolonización de un sector del bosque (Heinemann y Kitzberger 2006).

La recolonización por especies del bosque ha sido ampliamente documentada luego de disturbios naturales o intervenciones antrópicas. A modo de ejemplo, luego del abandono de tierras de cultivo en Canadá, Estados Unidos y Puerto Rico, entre otros lugares, en superficies originalmente cubiertas por bosques, se ha documentado la recolonización por componentes boscosos (Marcano-Vega, Mitchell Aide y Báez 2002; Cavallin y Vasseur 2009). En aprovechamientos forestales, los procesos de regeneración han sido analizados con el objeto de determinar los mejores sistemas de manejo que aseguren el pronto retorno de las especies forestales de interés. Así, por ejemplo, diferentes técnicas de aprovechamiento forestal han sido aplicadas en distintos bosques para establecer su capacidad de rápida recuperación. Entre estos casos podemos citar los estudios realizados en bosques de *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego, Argentina (Martínez-Pastur *et al.* 2011) o en el Sur de Chile (Rosenfeld, Navarro Cerrillo y Guzman Alvarez 2006).

La literatura científica también es muy vasta en cuanto a recolonización post disturbio por causas naturales en bosques (Veblen *et al.* 1996, 2005; Villalba 2000). A modo de ejemplo, la mortalidad periódica por “mal del ciprés” en bosques mixtos de *N. dombeyi* y *Austrocedrus chilensis* en el Norte de Patagonia genera aperturas del dosel y el consecuente reclutamiento de nuevos individuos, pero con un cambio en la composición de especies favoreciendo a *N. dombeyi* con tasas más altas de crecimiento que *A. chilensis* (Amoroso y Larson 2010; Amoroso, Suarez y Daniels 2012).

En bosques de *N. dombeyi* donde se evaluaron los efectos de la sequía del año 1998, el reclutamiento de individuos se pudo documentar en un amplio rango temporal desde finales del siglo XIX hasta finales del siglo XX, a través de pulsos episódicos de establecimiento (Suarez 2009).

También en el Norte de Patagonia, pero en bosques mixtos de *Araucaria araucana* y *N. pumilio* o en bosques de *A. araucana* y *N. antarctica* afectados por

incendios recurrentes, el reclutamiento de una u otra especie se ve beneficiada según la severidad del disturbio (González, Veblen y Sibold 2010; Mundo 2011). Los bosques longevos de *A. araucana* suelen ser resistentes a incendios tanto moderados como de alta intensidad por lo que en rodales mixtos con *Nothofagus pumilio*, esta especie suele re - establecerse en cohortes post disturbio a partir de semillas diseminadas por viento, mientras que *A. araucana* persiste en el lugar (González, Veblen y Sibold 2010).

En la zona de estudio de esta tesis, los eventos de inundación ocasionados por los sucesivos cierres del Canal de los Témpanos por el Glaciar Perito Moreno afectan la dinámica de los bosques en las costas del Lago Roca y los Brazos Sur y Rico del Lago Argentino. Estas inundaciones pueden ser consideradas, en el marco de las teorías de disturbios, como eventos de gran escala, al eliminar por completo la vegetación y alterar en forma brusca y periódica los procesos de sucesión vegetal introduciendo cambios marcados en la dinámica de los bosques (Oliver 1981; Veblen, Kitzberger y Villalba 2005). Si bien los procesos de recolonización están bien documentados para la mayoría de los disturbios mencionados anteriormente, no sucede lo mismo para el caso de la recolonización de las superficies inundadas que quedan expuestas, como ocurre luego de las rupturas del Glaciar Perito Moreno.

Por lo dicho anteriormente, el objetivo de este capítulo es documentar por medio de técnicas dendrocronológicas y estadística espacial, los procesos de colonización por especies arbóreas del bosque andino patagónico en las costas lacustres afectadas por las inundaciones recurrentes provocadas por el Glaciar Perito Moreno. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los capítulos anteriores sobre los eventos de inundación y las fechas de muerte de los árboles afectados por las inundaciones, es que se plantean en este capítulo las siguientes hipótesis:

a) El establecimiento de renovales en las costas del lago es posterior al endicamiento del año 1988, donde el agua alcanzó una cota de 21.5 m sobre el nivel normal, equivalente a las alturas máximas de 23.5 m alcanzada en la década de 1950. Por ello, se asume que la edad máxima de los árboles, según el momento en que se establecieron las parcelas de muestreo (años 2004, 2005, 2006 y 2012)

no debería ser mayor a 16, 17, 18 y 24 años respectivamente. Sin embargo, endicamientos de menor envergadura ocurrieron posteriormente a 1988, en relación a las rupturas documentadas en 2004, 2006, 2008 y 2012. Estos endicamientos deberían haber producido mortalidad de los individuos ubicados por debajo de los 9 m, cota máxima alcanzada durante estos eventos.

Por otro lado el marcado gradiente ambiental que introducen las variaciones de la precipitación y la temperatura en la región se ven claramente reflejados en las especies que componen los bosques en las costas de los lagos estudiados variando de bosques dominados por i) *N. antarctica* en el borde con la estepa, ii) *N. pumilio* en los sectores más secos y iii) bosques mixtos de *N. betuloides* y *N. pumilio* en los sectores más húmedos. Es importante mencionar que las costas afectadas por las inundaciones incluyen sectores pertenecientes al Parque Nacional Los Glaciares y la Reserva Provincial Península de Magallanes donde existen propiedades privadas. La carga ganadera varía considerablemente en función de la historia de ocupación propia de la región. Estas diferencias de los bosques próximos a las zonas afectadas por inundaciones permiten establecer la segunda hipótesis:

b) La composición en especies del bosque que coloniza los terrenos expuestos luego de las inundaciones refleja los gradientes de precipitación que dan origen a los diferentes bosques que se encuentran en las proximidades de las costas inundadas. El establecimiento de plántulas como así también el hábito de crecimiento de los renovales estarán determinados por la interacción entre las variaciones ambientales y la intensidad de la carga ganadera.

Finalmente, luego de los eventos de inundación, queda expuesta una línea de costa que varía, según la pendiente en la costa y altura de la inundación, entre 15 a 100 m aproximadamente, por lo que todas las especies arbóreas presentes en el bosque lindante, tienen la capacidad de colonizar esta franja costera. Postulamos entonces una tercera hipótesis:

c) la distribución espacial de los renovales en las áreas expuestas por las inundaciones es al azar.

4.2 Métodos

4.2.1 Área de estudio y parcelas de muestreo

El área de estudio está ubicada alrededor de los 50° 30' S y 72° 50' O, en el Suroeste de la provincia de Santa Cruz (Fig. 1). Todos los sitios de estudio se distribuyen en las costas de diferentes brazos pertenecientes al cuerpo Sur del Lago Argentino, en el Parque Nacional Los Glaciares.

En la zona de estudio seis son las especies arbóreas que conforman mayormente los bosques: tres especies del género *Nothofagus*, de los cuales *Nothofagus betuloides* Mirb. Blume (guindo o coihue de Magallanes) es siempreverde mientras que las dos restantes *Nothofagus antarctica* (G. Foster) Oerst.) (ñire) y *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser (lenga) son decíduos (Moore 1983). Una cupresácea (*Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin) (ciprés de las Guaytecas) se encuentra puntualmente distribuida en sectores muy reducidos donde las condiciones edáficas y climáticas le resultan favorables. Otras especies leñosas menores son *Drimys winteri* J. R. Forst & G. Forst (canelo) limitada al bosque húmedo y *Embothrium coccineum* J. R. Forst & G. Forst (notro o ciruelillo) considerado un arbusto con porte arbóreo, distribuido en todos los tipos de bosque y presente en lugares con diferente grado de humedad.

Los árboles crecen desde la costa del Lago Argentino a 185 msnm, hasta los 900-1200 msnm de altura y en algunos sectores muy próximos a los glaciares (Perez Moreau 1959; Armesto, Casassa y Dollenz 1992). Según la ubicación en cuanto a orientación y exposición los bosques se pueden clasificar por la mayor o menor humedad del ambiente en a) Bosques Subantárticos o Magallánicos húmedos; b) Bosques Subantárticos o Magallánicos méxicos; c) Bosques Subantárticos o Magallánicos secos; d) Bosques Subantárticos o Magallánicos mixtos (Roig *et al.* 1985; Roig 1998).

En el área de estudio, los bosques húmedos y mixtos se encuentran en la ladera Oeste del Brazo Sur y hacia el sector Oeste del Brazo Rico. Los bosques méxicos aparecen representados hacia el Norte del Brazo Rico, sector Sur del Canal de Los Témpanos y extremo Oeste del Lago Roca. Por su parte los bosques secos se encuentran en contacto con la estepa patagónica hacia el Este de Brazo Rico y Lago Roca.



Figura 1. Área de estudio y ubicación de los sitios de muestreo. Para detalle de las siglas de los sitios muestreados ver Tabla 1.

Las costas lacustres muestreadas se encuentran dentro del Parque Nacional Los Glaciares y presentan diversas características en cuanto al uso de la tierra. Las parcelas denominadas BR (Brazo Rico) están ubicadas en la zona de uso turístico. Por la costa Norte del Brazo Rico se encuentra el camino de acceso a la zona de contemplación del Glaciar Perito Moreno. Existe un lugar de uso diurno con fogones y servicios cercanos a la parcela BR1, luego hay una zona con muelles para embarcaciones turísticas cercanas a la parcela BR4, y hay un sendero para caminatas organizadas a lo largo de la costa cerca de las parcelas BR5 y BR6. En la costa Sur del Brazo Rico, en el sitio Las Monedas, donde se ubicó la parcela TLM y en la desembocadura del río Camiseta donde se muestrearon las parcelas Brazo Sur (BS), hasta el momento, no hay uso turístico.

En épocas anteriores a la creación del Parque Nacional Los Glaciares en el año 1937, la zona estaba ocupada por colonos y los sectores del bosque eran utilizados para el pastoreo de ganado bovino. Al retirarse las personas con el advenimiento de la creación del Parque Nacional, el ganado fue abandonado y en la actualidad existe ganado bagual (Parques Nacionales, 1997), particularmente

concentrado en el sector correspondiente a la costa Sur del Brazo Rico y Oeste del Brazo Sur.

En cuanto al gradiente de precipitación las parcelas ubicadas a lo largo del Brazo Rico van de xéricas (próximas a la estepa) a méxicas, con exposición Sur. El sitio La Monedas es méxico con exposición Norte y las parcelas muestreadas en el Brazo Sur son lugares húmedos con exposición Este (Tabla 1).

Se muestrearon un total de 10 parcelas ubicadas de la siguiente manera: a lo largo de 30 km por el camino de acceso hacia el Glaciar Perito Moreno en la margen Norte del Brazo Rico se distribuyeron 6 parcelas aproximadamente equidistantes; una en la margen Sur del mismo canal en el sitio Las Monedas, frente al puerto Bajo de la Sombra y tres ubicadas de la misma manera a lo largo de la costa Oeste del Brazo Sur en la desembocadura del río Camiseta (Fig. 2, Tabla 1). De esta manera se pudieron incluir zonas con diferentes exposiciones, de condiciones ambientales distintas de acuerdo al gradiente pluviométrico y con usos de la tierra disímiles.

El tamaño de cada parcela fue variable determinándose el mismo en función de la cantidad de renovales de árboles presentes en el área, con el fin de incluir, en cada caso, un mínimo de 40 individuos por parcela. El largo se extendió en todos los casos, desde el bosque no afectado por inundaciones (margen superior de la costa), hasta el nivel del lago al momento del muestreo. El largo varió entre 10 a 145 m, dependiendo de la inclinación del terreno. El ancho de las parcelas, por su parte, fluctuó entre 5 a 60 m. Donde comienza el borde del bosque no afectado se encuentra el material muerto acumulado por el agua durante los eventos asociados a las inundaciones más altas. Este material compuesto de troncos y ramas muertas en diferentes grados de conservación es conocido localmente como “resaca”.

Tabla 1: Posición geográfica y estructura de las parcelas en estudio

Sitio	ID	Latitud	Longitud	Área (m ²)	Largo (m)	Ancho (m)	Altitud (msnm)	Pendiente (grados)	Exposición	Fecha de Muestreo
Brazo Rico	BR 1	50°26'10.3	72°45'36.2	8100	135	60	218	12.8	Sur	03/2004
Brazo Rico	BR 2	50°27'15.0	72°48'40.0	2880	60	20	217	13.2	Sur	03/2004
Brazo Rico	BR 3	50°29'00.2	72°53'03.6	1450	145	10	219	13	Sur	12/2005
Brazo Rico	BR 4	50°29'23.2	72°57'24.1	420	60	7	203	14.3	Sur	01/2006
Brazo Rico	BR 5	50°28'28.3	72°59'07.4	1150	115	10	196	14.5	Sur	12/2005

Rico										
Brazo Rico	BR 6	50°28'35.2	73°01'20.3	510	10	51	201	35.5	Sur	01/2006
Brazo Rico Sur	BS 1	50°34'49.9	72°57'35.0	1780	89	20	207	18	Este	03/2004
Brazo Sur	BS 2	50°33'55.3	72°57'12.9	1400	35	40	194	18.7	Este	03/2004
Brazo Sur Las Monedas	BS 3	50°34'21.7	72°57'24.5	230	46	5	218	17.8	Este	03/2004
	TLM	50°30'31.9	72°59'52.4	890	89	10	176	16.5	Norte	01/2012



Figura 2. Parcelas de muestreo. Ver tabla 1 para referenciar las siglas con los sitios de muestreo.

4.2.2 Colección y procesamiento dendrocronológico de muestras y determinación de las fechas de establecimiento y mortalidad

El total de árboles muestreados y procesados en las 10 parcelas fue de 788 individuos. En cada parcela se determinaron las coordenadas de ubicación para cada individuo muestreado, la especie arbórea a la cual pertenecía y se midieron la altura, el diámetro en la base (DAB) y el tamaño de la copa. Se registró si presentaban un único fuste principal o más fustes. Cada uno de los individuos fue además clasificado en tres clases: plántulas (menos 1.3 m de altura); juveniles (más 1.3 m altura y menos 5 cm DAP) y adultos (más de 5 cm DAP).

Utilizando barreno de incremento, se tomaron muestras de todas las especies arbóreas presentes en cada parcela, para los casos en que los individuos presentaron diámetros mayores a 5 – 6 cm a la base (DAB). La altura de barrenado fue lo más cercano a la base posible. Cada vez que el diámetro a la base no permitió utilizar barreno (diámetro < 5 cm) fue necesario extraer las plántulas. Las muestras tomadas con barreno de incremento se colocaron en sorbetes plásticos etiquetados para ser transportados. Por su parte las plántulas luego de cortar el excedente de raíces y ramas de las copas, fueron etiquetadas y transportadas en bolsas desde el campo al taller, donde se realizaron cortes transversales a la altura del cuello, conservando la sección correspondiente a la base del tallo principal (Fig. 3).

Las muestras fueron procesadas siguiendo las técnicas convencionales empleadas en dendrocronología (Stokes y Smiley 1968). Tanto las muestras de barreno como las secciones transversales fueron pulidas con lijas de grano progresivamente más fino (80-600), hasta lograr que los anillos de crecimiento fueran netamente visibles. Este proceso resulta imprescindible para determinar con precisión la edad de las plantas y por lo tanto la fecha de establecimiento de los árboles.

El datado de cada muestra correspondiente a cada árbol, renoval y/o plántula se estableció visualmente (Yamaguchi 1991) con la ayuda de lupa binocular (50x), y se empleó la convención de Schulman (1956) Klein *et al.* 2008) para el Hemisferio Sur que asigna a cada anillo la fecha del año en que comenzó el crecimiento radial.

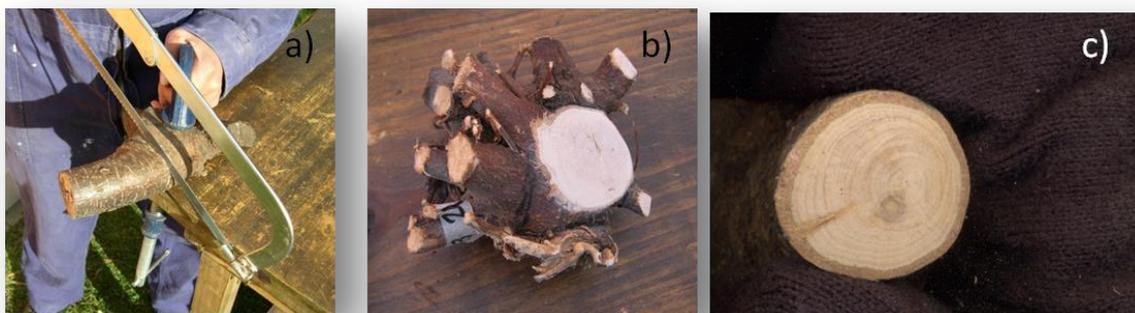


Figura 3. a) Corte transversal a la altura del cuello b) Ejemplar multifustal de *E. coccineum* c) Sección transversal de *N. pumilio*.

4.2.3 Análisis de la información

Para cada parcela se evaluó la densidad de individuos por hectárea y se determinó la cantidad de individuos con más de un fuste presente. Se calcularon valores promedio y desvíos estándar de las variables edad, altura y DAB para luego compararlas gráficamente entre parcelas. En cada parcela, se evaluó también la riqueza, la composición específica y el porcentaje de dominancia por especie.

En cuanto al número de fustes por planta, este parámetro se evaluó en los ejemplares de *E. coccineum* presentes en ambas costas: Brazo Rico y Brazo Sur, por ser esta especie altamente palatable y la más ampliamente representada, presente en 8 de las 10 parcelas de muestreo. Para establecer si existen diferencias significativas en el pastoreo, evaluado a través del número de fustes por renewal, se aplicó una prueba de Kruskal Wallis ya que los datos no cumplían con el supuesto de normalidad (Zar, 1999). Para este análisis se utilizó el software Infostat (Di Rienzo *et al.* 2011).

Los patrones temporales de establecimiento por especie post disturbio (inundaciones) se basaron en el fechado visual de las secciones transversales o muestras de barrenos de los individuos presentes en las parcelas. El disturbio propiamente dicho, en este caso corresponde con la inundación previa a la ruptura ocurrida en el año 1988 del frente del Glaciar Perito Moreno. La altura alcanzada por el agua en este endicamiento llegó a los 21.5 m, casi coincidente con el límite del bosque vivo no afectado por inundaciones previas, estimado en aproximadamente

23.5 m desde el nivel regular de las aguas (Stuefer 1999). Con los datos de fechados se obtuvieron gráficos de frecuencia de establecimiento para cada parcela, los que fueron unificados luego por sector muestreado sobre la costa Norte y costa Suroeste de los canales del lago.

Con el fin de describir los patrones espaciales en el establecimiento de las plántulas en los sectores costeros abandonados por el agua, se utilizaron las coordenadas de cada individuo en Y (distancia entre el bosque no afectado por las inundaciones hasta el nivel normal del lago) para evaluar de manera indirecta la distancia de dispersión de las semillas de las especies arbóreas presentes. Por medio de regresión simple se cuantificó la relación entre distancia y edad. La variable edad se utilizó, en un primer análisis, con todos los datos y luego en forma estratificada, donde los establecimientos fueron agrupados en rangos de 5 metros. En cada sub-parcela de 5m se eligió la fecha de establecimiento más antigua.

Por otro lado se generaron mapas de distribución espacial de los renovales utilizando las coordenadas X-Y de ubicación en cada parcela. Estos mapas espaciales se realizaron en función de la edad, el DAB y la altura. En estadística espacial el conjunto de datos, generados a partir de las coordenadas, recibe el nombre de patrón espacial de puntos (Diggle 2003). Las propiedades de los patrones espaciales están dadas por la propiedad de primer orden: intensidad (λ), número esperado de puntos por unidad de área en cualquier localidad, y las propiedades de segundo orden: relaciones existentes entre pares puntos, por ejemplo, la probabilidad de encontrar un punto en las inmediaciones de otro punto. En el caso de patrones uniformes o regulares, la probabilidad de encontrar un punto en las inmediaciones de otro es menor de la que tendría un patrón aleatorio mientras que en los patrones agrupados la probabilidad es mayor.

En este sentido el interés fue determinar si existe algún patrón de agrupamiento de los renovales en el espacio o si estos se distribuyen al azar y si las especies presentes tienden a agruparse, se encuentran aleatoriamente dispersas o se repelen entre sí. El estimador más popular de las propiedades de segundo orden es la función K de Ripley, que las estima a todas las escalas (r). El valor teórico de K representa una distribución al azar para determinado radio y densidad de puntos, cuando el valor calculado de K sobrepasa el valor esperado por azar significa que existe una mayor cantidad de puntos alrededor de un punto en particular y el patrón

de distribución espacial será agrupado (y viceversa para repulsión o regular: Wiegand y Moloney 2004, De la Cruz 2006).

La función K se expresa como:

$$K(r) = \lambda^{-1}$$

donde (λ) es la densidad de individuos. Con frecuencia se define como $\lambda K(r)$ número medio de individuos en un círculo de radio r alrededor de cualquier individuo, sin contar dicho individuo central. Dado que el límite de las parcelas es arbitrario se introdujo una corrección por el efecto borde. Este efecto surge porque los puntos que aparecen fuera de los límites del área de muestreo no son tenidos en cuenta, lo que puede llevar a estimaciones sesgadas. Una manera de minimizar este efecto es calcular $K(r)$ donde $r < 1/3$ de la longitud del lado más corto de la parcela (Wiegand y Moloney 2004, Baddeley y Turner, 2005).

La función L univariada

$$L(r) = (K(r)/\pi)^{1/2}$$

(derivada de la función K de Ripley) es la que se emplea con mayor frecuencia en la práctica debido a que permite una interpretación más consistente del test. Describe el patrón espacial de sólo un conjunto de puntos. Gráficamente la función L univariada se visualiza como una línea negra continua que representa el patrón del total de los árboles que se encuentran en el área analizada y una línea roja punteada representa la función $L(r)$ para un patrón teórico distribuido al azar en el espacio.

La función L bivariada o L_{cross} , describe el patrón espacial de un conjunto de puntos con respecto a otro conjunto de puntos, esta función se utilizó para comparar si una especie se agrupaba con otra. De la misma manera la línea negra continua es la función $L(r)$ para el patrón bivariado de una especie con respecto a otra y la línea roja punteada es la función $L(r)$ para un patrón teórico distribuido al azar en el espacio. Los intervalos de confianza están definidos por el área gris y se calculan con múltiples simulaciones de Monte Carlo.

Cada vez que la línea negra se encuentra por encima de los intervalos de confianza existe atracción y si la línea negra se encuentra por debajo del área gris habrá repulsión. Los análisis se realizaron mediante el uso del software libre R.

4.3 Resultados

4.3.1 Estructura y composición de las parcelas de muestreo

La densidad varió para todos los sitios relevados entre 127 a 4696 individuos por hectárea (Tabla 2). Entre los sitios muestreados a lo largo de la costa Norte del Brazo Rico, la parcela con menor densidad fue BR1 con 127 ind/ha. Por el contrario, la que presentó la mayor densidad de individuos fue BR2 con 1608 ind/ha. Para la costa Oeste del Brazo Sur la densidad de árboles presentó un rango mayor de 180 a 4696 ind/ha. BS1 fue la menos densa con 180 ind/ha y BS3 fue la parcela que presentó mayor densidad 4696 ind/ha (Tabla 2).

En cuanto a los fustes presentes por individuo de *E. coccineum* fue mayor el número en Brazo Sur, con una media de 7.82, mientras que en Brazo Rico, la media fue de 4.49, la diferencia encontrada fue estadísticamente significativa (Fig. 4).

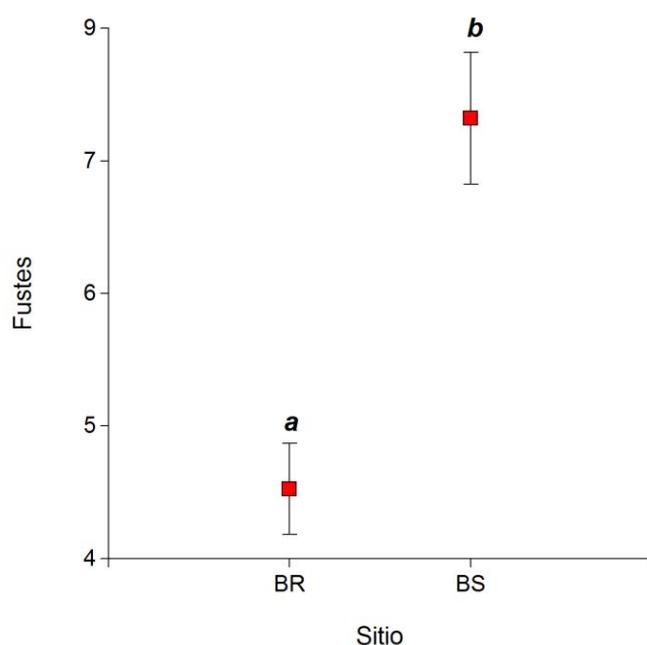


Figura 4. Número de fustes por individuo de *E. coccineum* para todas las parcelas de Brazo Rico (BR) versus todas las parcelas de Brazo Sur y Las Monedas (BS).

Tabla 2: Características de las parcelas de muestreo

N°	Parcelas	Densidad (Ind/ha)	Riqueza (N° de especies)	Edad Promedio (años)	Rango de edades (años)
1	BR 1	127.2	2	5.0	1 - 15
2	BR 2	670.1	2	6.4	1 - 14
3	BR 3	434.5	2	9.0	1 - 15
4	BR 4	1214.3	3	10.1	1 - 17
5	BR 5	365.2	3	8.2	1 - 14
6	BR 6	823.5	2	8.4	1 - 15
7	BS 1	179.8	1	6.6	2 - 13
8	BS 2	328.6	3	8.0	2 - 13
9	BS 3	4695.6	4	6.0	1 - 15
10	TLM	1022.5	2	7.0	2 - 19

En cuanto a la edad de los individuos presentes para todas las parcelas, el rango de edad varió entre 1 a 19 años (Tabla 2, Fig. 5). Sin embargo, unificando las fechas de muestreo al año 2004 para todas las parcelas, el rango de edad varió entre 1 y 17 años. La parcela BR4 presentó el mayor promedio de edad (10 años), seguida por BR3, BR5 y BR6 con 9 años y por último BR2 y BR1 con 6 y 5 años, respectivamente. Para el caso del Brazo Sur, BS2 exhibió la mayor edad promedio con 8 años, seguida de BS1 y luego BS2. La parcela TLM presentó el mayor rango de edad 2 – 19, cabe destacar que esta parcela fue muestreada con posterioridad a las anteriores (verano del año 2012). En cuanto al promedio de edad, esta parcela presentó un valor intermedio de 7 años, entre los otros dos sitios (BR y BS) (Tabla 2, Fig. 5). De todas las parcelas relevadas BR2 es la que presentó la menor variación en cuanto a la edad de los individuos.

Al evaluar la altura de los renovales se evidenció una marcada diferencia entre los sitios de la costa Norte del Brazo Rico y aquellos ubicados en la costa Sur del mismo canal y en el Brazo Sur, siendo la altura promedio menor en estos últimos sitios (Fig. 4). En las parcelas BR, la altura promedio fue mayor en BR6 con 1.4 m seguida de BR3 con 1.3 m, luego BR2 sin alcanzar el metro de altura, BR1 con 0.83 m, BR4 con 0.76 m y finalmente BR3 con 0.59 m. En las parcelas del Brazo Sur y Las Monedas el promedio de los renovales no llegó al medio metro de altura (Fig. 5).

Para el caso del diámetro a la base (DAB), variable directamente relacionada con la altura, el patrón fue similar, los menores diámetros promedios están presentes en los sitios del Brazo Sur y Las Monedas, siendo mayores en el Brazo Rico. BR2 presentó los mayores DAB promedios (5.5 cm) le siguieron BR6 (4.74 cm), luego BR3 (4.34 cm) BR4 (2.47 cm), BR5 (3 cm) y por último BR1 (2 cm). Para las parcelas BS el DAB fue menor a 2 cm, BS1 con 1.96 cm, BS2 con 1.70 cm y BS 3 con 1.16 cm. En Las Monedas el DAB fue muy similar a BS3 con 1.15 cm. En cuanto a la variación en cada parcela, BR1, BR3 y BR6 resultaron ser las más variables del total de sitios relevados (Fig. 5).

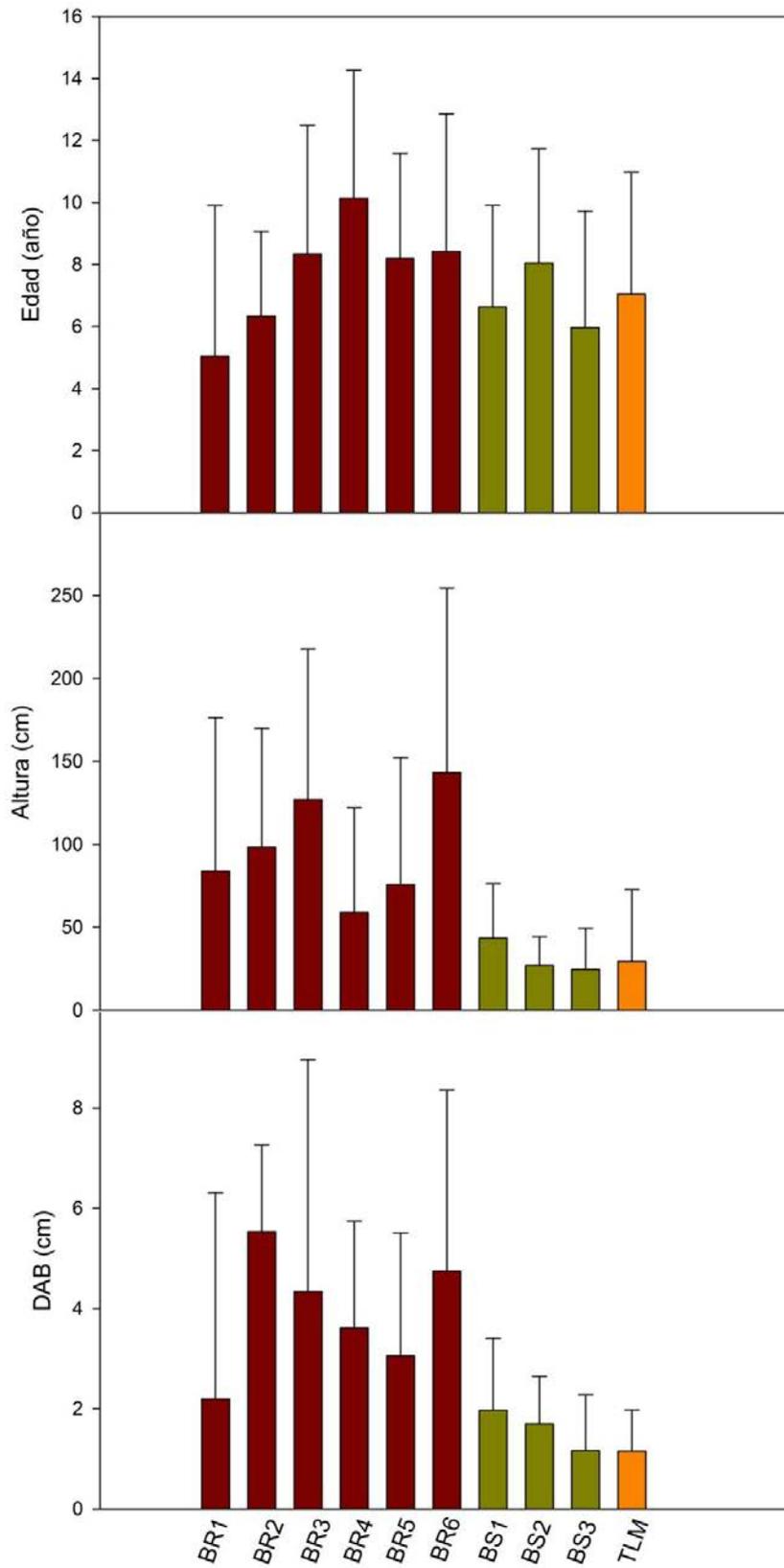


Figura 5. Valores promedio (barras) y desvíos estándar (líneas verticales) para la edad, altura y DAB. Parcelas muestreadas en el año 2004 (BR1, BR2, BS1, BS2 y

Sector Brazo Rico

La composición específica en las parcelas muestreadas a lo largo de la margen Norte del Brazo Rico, estuvo representada por cuatro elementos arbóreos: *E. coccineum* y los tres *Nothofagus* presentes en el área *N. antarctica*, *N. pumilio* y *N. betuloides* (Tabla 2, Fig. 6). Estas cuatro especies presentaron asociaciones diferentes en función de la ubicación relativa en relación al gradiente de humedad Este - Oeste, de menor a mayor humedad respectivamente. De todas las parcelas muestreadas, solamente en BS3 se registraron las cuatro especies juntas (Fig. 7).

La riqueza de especies fue dos (2) en las parcelas BR1, BR2 y BR3: *N. antarctica* y *N. pumilio* en BR1; *N. antarctica* y *E. coccineum* en BR2; *E. coccineum* y *N. pumilio* en BR3. Por su parte, la riqueza aumentó a tres (3) especies leñosas en BR4 y BR5. *N. pumilio*, *E. coccineum* y *N. antarctica* fueron registradas en BR4, en tanto que *N. betuloides* reemplazó a *N. antarctica* en BR5. Por último en BR6 la riqueza de especies disminuyó a dos (2), quedando representados *E. coccineum* y *N. betuloides* solamente (Tabla 2).

En cuanto a la dominancia de las especies, los individuos colonizadores presentes en la parcela BR1 estuvieron representados por *N. antarctica* en un 90% y *N. pumilio* en un 10% (Fig. 6). En la parcela BR2 *N. antarctica* con 78.5% y *E. coccineum* con 21.5%. En BR3, por otro lado, dominó *E. coccineum* en un 97% seguido por *N. pumilio* con tan sólo 3%. En las parcelas BR4 la dominancia de *N. pumilio* fue evidente, con un 71.5% con respecto a *E. coccineum* 26.5% y tan sólo un 2% restante representado por *N. antarctica*. En BR5 apareció incipientemente *N. betuloides* en un 14.65%, seguido por *N. pumilio* 31.7% con una dominancia de *E. coccineum* en un 53.65%. En la parcela BR6 ubicada en el extremo Oeste de la transecta, dominó *E. coccineum* 57.5% y *N. betuloides* con un 42.5% sin registrarse la presencia de *N. antarctica* ni tampoco de *N. pumilio* (Fig. 6).

Sector Brazo Sur – Las Monedas

En una situación de mayor humedad, en la margen Oeste del Brazo Sur, BS1 presentó riqueza uno (1) con sólo ejemplares de *E. coccineum*. BS2 reportó riqueza tres (3) con *E. coccineum*, *N. pumilio* y *N. betuloides*, mientras que en la parcela BS3 la riqueza fue la mayor estando presentes las cuatro (4) especies arbóreas que

se encuentran en los bosques aledaños. En TLM la riqueza fue dos (2) representada por *N. betuloides* y *E. coccineum* (Tabla 2).

En las tres parcelas BS1, BS2 y BS3 la especie dominante fue *E. coccineum*. En BS2, *E. coccineum* constituyó el 93%, *N. pumilio* el 4.4% y *N. betuloides* el 2.3% de los ejemplares presentes. En la parcela BS3 *E. coccineum* disminuyó la dominancia a un 86% de los ejemplares, la abundancia de *N. betuloides* aumentó a un 12.6%, con un bajo porcentaje, sólo 0.85% de *N. pumilio* (Fig. 7). En la margen Sur del Brazo Rico, la parcela relevada en el sitio Las Monedas presentó un 97.6% de *N. betuloides* con tan sólo un 2.4% de *E. coccineum* (Fig. 7).

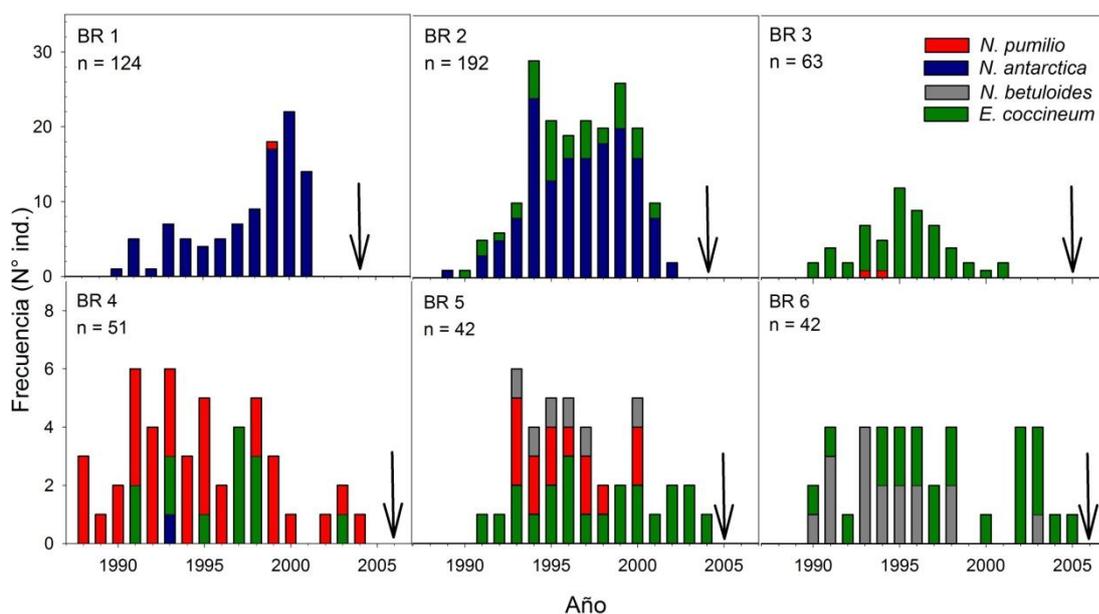


Figura 6. Fechas de establecimiento de especies arbóreas por parcela de muestreo en el sector Brazo Rico. Las flechas negras indican el año de muestreo.

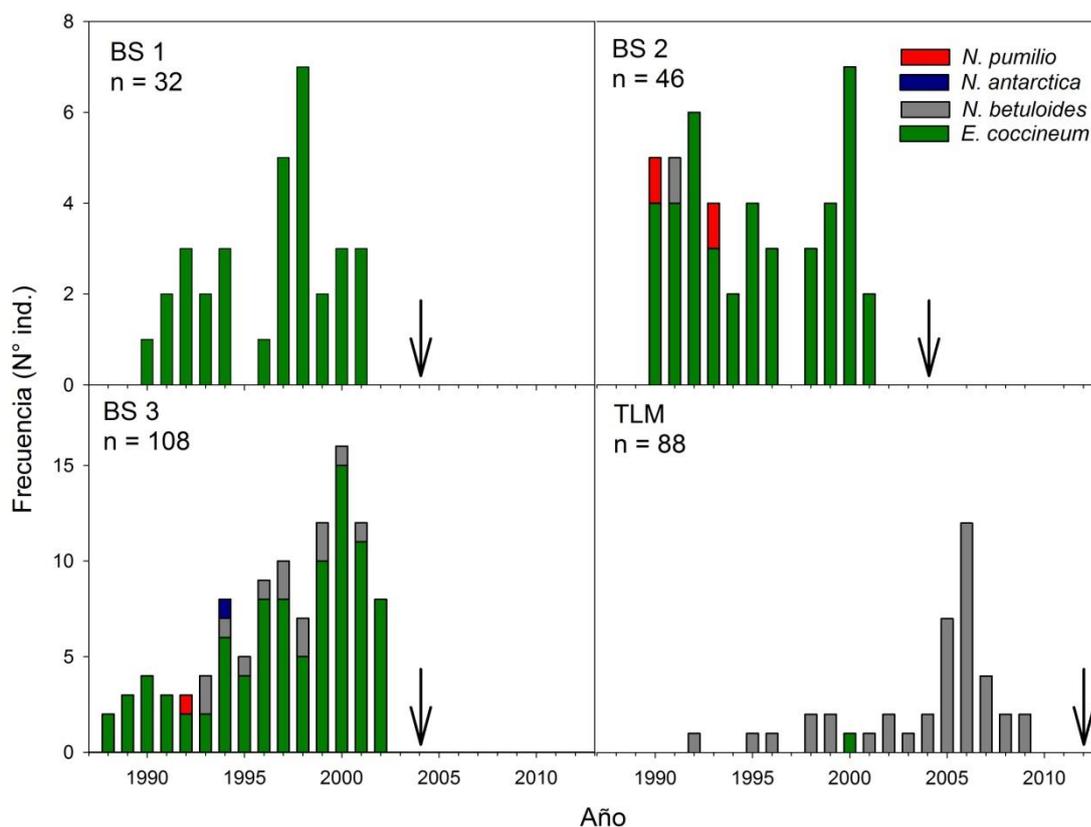


Figura 7. Fechas de establecimiento de especies arbóreas por parcela en los sectores Brazo Sur y Las Monedas. Las flechas negras indican el año de muestreo.

4.3.2 Patrones temporales de establecimiento

Sector Brazo Rico

Al analizar el reclutamiento de árboles por parcelas para el sector Brazo Rico durante los 5 primeros años que siguieron a la inundación del año 1988, se estableció en BR1 solamente *N. antarctica* mientras que en BR2 lo hicieron *N. antarctica* y *E. coccineum*. En BR3 y BR5, para el mismo lapso, el establecimiento estuvo representado solamente por *E. coccineum*, mientras que en BR4 se establecieron *N. pumilio* y *E. coccineum*. En BR6 por el contrario, *N. betuloides* y *E. coccineum* se establecieron casi simultáneamente a partir de 1990 (Fig. 6).

Al evaluar el periodo de análisis del establecimiento a los 10 años con posterioridad al año 1988, en BR1 continuó la colonización por parte de *N. antarctica* exclusivamente. En BR2 *N. antarctica* y *E. coccineum* de igual manera

que en los 5 primeros años. En BR3 se registró *N. pumilio* además de *E. coccineum* presentes con anterioridad. En BR4 además de *N. pumilio* y *E. coccineum* se reclutó *N. antarctica*. En BR5 se sumaron a *E. coccineum*, la presencia de *N. pumilio* y *N. betuloides*. En BR6 continuó el reclutamiento de *N. betuloides* y *E. coccineum* (Fig. 6).

En cuanto al establecimiento de nuevos individuos para el sitio Brazo Rico en su conjunto, desde 1998 hasta el momento del muestreo (2004, 2005 y 2006) se observó un incremento sostenido desde 1988 a 1993, estabilizándose el número de nuevos renovales establecidos a partir de esa fecha (Fig. 8). Si bien se observa una reducción en el establecimiento durante los últimos años antes del muestreo, es muy probable que esta reducción se deba a la dificultad de identificar, dado su reducido tamaño, renovales de 1 o 2 años de edad. Entre los años 1994 y 2000 se produjo el mayor reclutamiento de árboles, siendo los años 1994, 1995 y 2000, en particular, los que presentaron el mayor establecimiento. Inicialmente a partir de 1998, *N. antarctica* y *N. pumilio* se establecieron casi en forma constante, a excepción de los años 2001 y 2005 donde *N. pumilio* estuvo ausente. *E. coccineum* y *N. betuloides* se establecieron con dos años de retraso. *N. betuloides* presentó la mayor cantidad de años sin establecimiento a saber: 1988, 1989, 1992, 2001, 2002, 2004 y 2005. No se registraron años con ausencia de establecimiento teniendo en cuenta a todas las especies involucradas.

Sector Brazo Sur – Las Monedas

En el sector del Brazo Sur (BS) – Las Monedas (TLM), durante los 5 primeros años con posterioridad al año 1988, el reclutamiento por parcelas estuvo dado por *E. coccineum* en BS1, *E. coccineum*, *N. pumilio* y *N. betuloides* en BS2, *E. coccineum* y *N. pumilio* en BS3, mientras que en TLM, primero se estableció *N. betuloides* en el año 1992 (Fig. 7). Al analizar 10 años con posterioridad al primer reclutamiento BS1 continuó siendo monoespecífica con *E. coccineum*, en BS2 se registró solamente *E. coccineum* mientras que durante los primeros años hubo también *N. pumilio* y *N. betuloides*. En BS3 además de *E. coccineum*, se reclutaron *N. betuloides* y *N. antarctica*. En TLM continuó el establecimiento de *N. betuloides* como única especie (Fig. 7).

Para el sector Brazo Sur - Las Monedas analizado en su conjunto, el establecimiento comenzó en el año 1988 representado por *E. coccineum*. En el año 1991 se inició el establecimiento de *N. betuloides* (Fig. 8). *N. pumilio* se estableció solamente en los años 1990, 1992 y 1993, mientras que *N. antarctica* lo hizo exclusivamente en el año 1994. Un reclutamiento máximo se registró para el año 2000, principalmente dado por *E. coccineum*, y otro pulso se documentó en el año 2006. Este segundo subgrupo corresponde a los renovales registrados en la parcela TLM la cual fue muestreada en el año 2012. Los ejemplares se encontraron por encima de los 9 m de altura, nivel al cual llegó el agua durante el edicamiento del año 2004 - 2005. Los muestreos en las parcelas BS1, BS2 y BS3 se realizaron con anterioridad al año 2006 por lo que no se pudo constatar si un reclutamiento similar ocurrió en estas parcelas durante el año 2006 (Fig. 8).

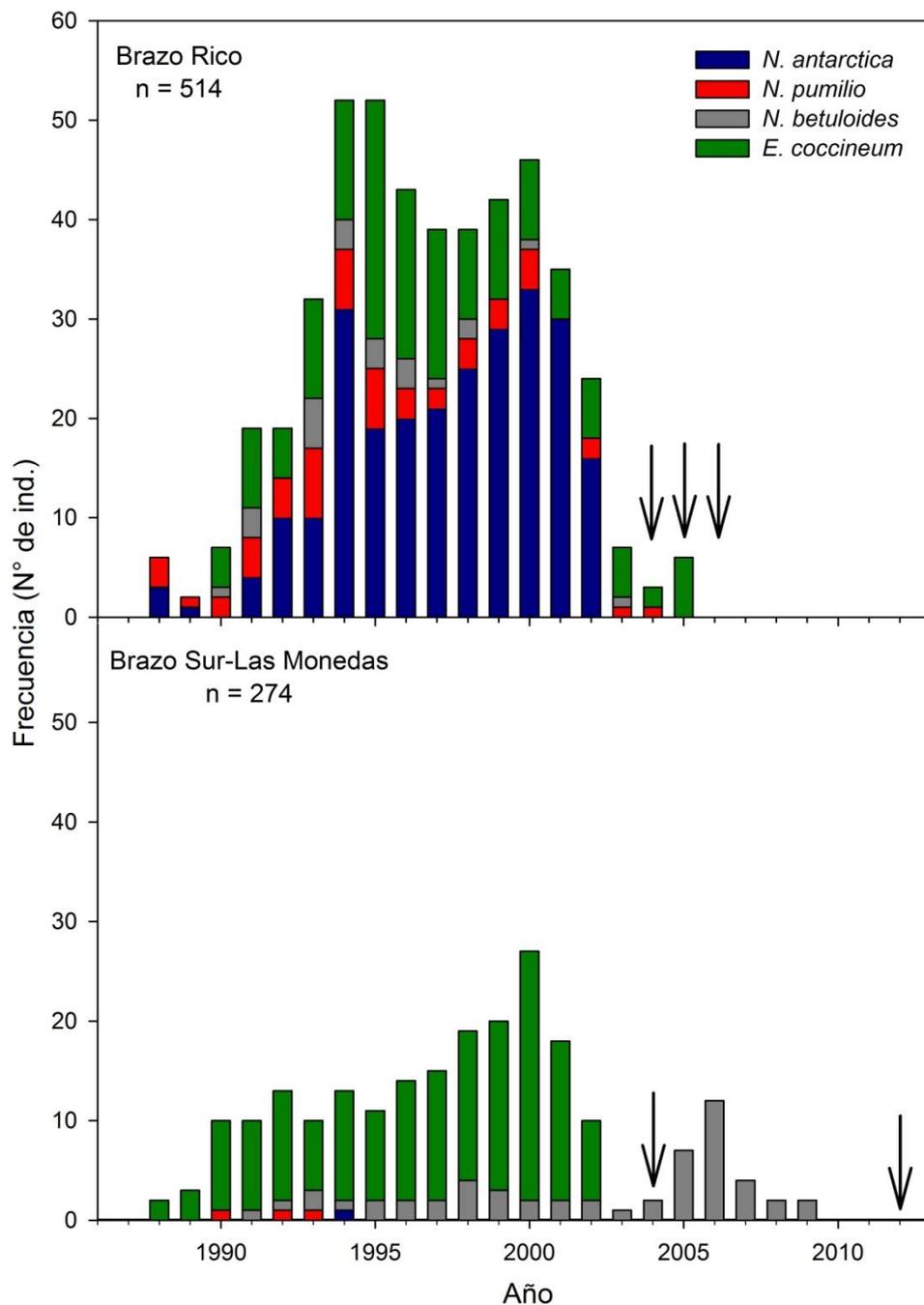


Figura 8. Fechas de establecimiento de especies arbóreas para el sector Brazo Rico y sectores Brazo Sur - Las Monedas. Las flechas negras indican los años de muestreo.

4.3.3 Patrones espaciales de distribución

Distancia relativa de colonización alcanzada por los árboles

Teniendo en cuenta la ubicación en el espacio de los renovales, y analizando la distancia (coordenada Y) entre el bosque semillero y la costa del lago, se pudo observar un patrón claramente diferente en el establecimiento de los renovales para cada especie (Fig. 9). En este sentido, *E. coccineum* y *N. antarctica* alcanzaron distancias similares, ambos llegaron hasta los 130 – 135 m desde el bosque semillero, con valores medios mayores (52 m) para el caso de *N. antarctica* y menores (24 m) para *E. coccineum*. La dispersión para *N. antarctica* se ubicó entre los 3 - 60 m, mientras que para el caso de *E. coccineum* entre 9 – 45 m, con un desvío mucho más amplio en esta especie.

N. betuloides, por su parte, llegó solamente hasta los 80 m. En comparación con las cuatro especies analizadas, *N. betuloides* presentó la dispersión más regular, es decir que la mayor cantidad de individuos se mantuvieron dentro de los rangos medios, con una dispersión entre 7 – 57 m, una media de 39 m y los percentiles ubicados todos entre 70 - 80 m.

N. pumilio por su parte, mostró la menor distancia de dispersión, sólo alcanzó los 45 m, menos de la mitad de la distancia colonizada por *N. antarctica*. En esta especie, la dispersión se concentró entre 4 – 8.8 m y la media ubicada tan sólo a los 6 m del bosque no afectado por las inundaciones.

Si bien el largo de las parcelas no fue en todos los casos el mismo, todas las especies estuvieron presentes en parcelas que tenían al menos 100 m de largo con lo cual, no fue el tamaño de las parcelas, el limitante del área de dispersión para cada especie (Fig. 9).

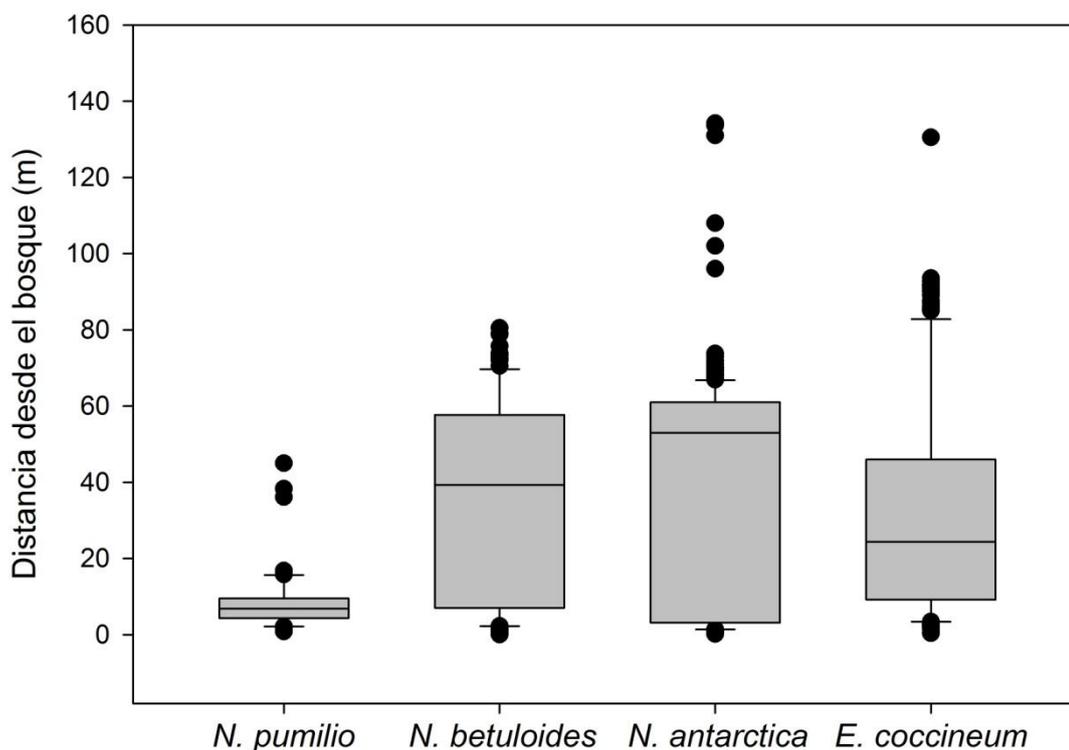


Figura 9. Distancia de colonización de nuevos renovales desde el bosque semillero, alcanzada por las cuatro especies arbóreas presentes.

Al analizar la relación entre distancia (coordenada Y) con respecto a la variable edad no se encontraron patrones significativos. Es decir que, para todas las especies presentes, no hubo un reclutamiento progresivo desde el bosque hacia el lago, donde los individuos de mayor edad estarían ubicados más próximos al bosque semillero.

Al analizar todas las edades de los ejemplares presentes, *N. pumilio* presentó un patrón levemente positivo con la distancia Y en BR5 pero no se registró tendencia alguna en BR4. Por otro lado, *N. betuloides* mostró un patrón positivo solamente en TLM, sin tendencia en BR6 y negativo en BS3. Por su parte, *N. antarctica* reportó un patrón positivo en BR2 y negativo en BR1. Mientras que en el caso de *E. coccineum* el patrón fue positivo en BR3, sin tendencia en BR2 y negativo en BR4, BR5, BR6, BS1 y BS3.

Cuando se analizaron las edades en rangos estratificados en relación a distancias cada 5 m, tomando el individuo de mayor edad presente en esa franja, se

reportaron patrones positivos para *N. pumilio* en BR4, *N. betuloides* en TLM y *N. antarctica* en BR1 y BR2. Mientras que *E. coccineum* mostró un patrón positivo en BS3, sin tendencia en BR3 y negativo en BR2, BR4, BR5, BS1 y BS2.

Patrones espaciales de distribución: Sector Brazo Rico

En los mapas de distribución espacial los renovales se representaron por medio de círculos según las variables edad, DAB y altura. Por medio de la función L univariada, se pudo detectar un patrón agrupado en el espacio de los renovales presentes en todas las parcelas. Esto quedó de manifiesto en los gráficos de distribución espacial correspondientes, al igual que los resultantes de los análisis univariados donde la línea negra continua se mostró en todos los casos por encima de los intervalos de confianza, sugiriendo agrupamiento de los individuos en todas las parcelas (por ejemplo Fig. 10). Los metros sobre el eje X representan el radio de la circunferencia evaluada para el cálculo de la función L con un radio máximo de 1/3 de la longitud del lado más pequeño de cada parcela. Aplicando la misma función L univariada se calculó por separado el patrón de distribución espacial para cada subgrupo de puntos, en este caso para cada una de las diferentes especies presentes en las parcelas. A su vez, los análisis realizado con la función L bivariada o L cross indicaron en todos los casos atracción significativa entre especies.

En la parcela BR1 la mayoría de los árboles aparecieron concentrados cercanos al bosque y en el sector central de la parcela, con pocos individuos aislados cerca de la costa del lago (Fig. 10).

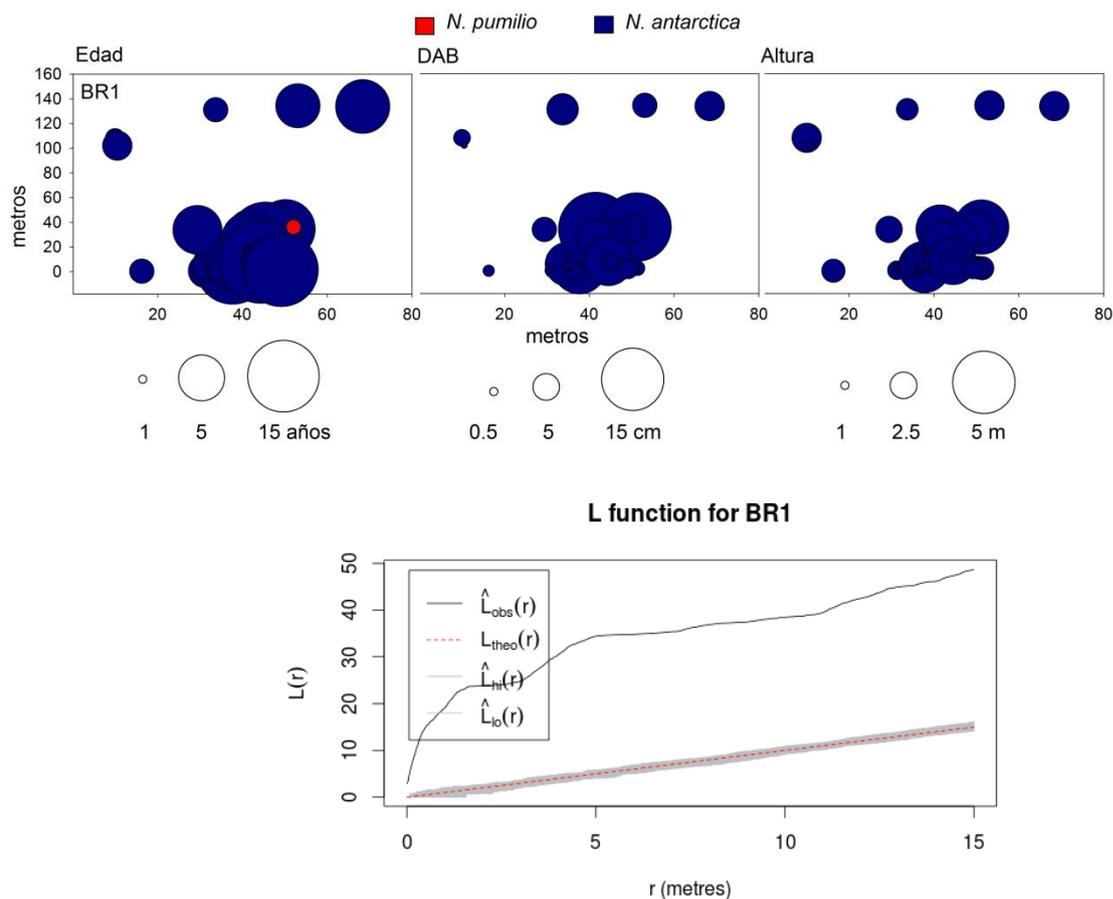


Figura 10. Panel superior, representación de la distribución espacial de renovales discriminados por edad, DAB y altura. Panel inferior, función L univariada indicando un patrón agrupado para los renovales de *N. antarctica*.

Para el caso de los renovales en BR2, la totalidad de los individuos se concentró en el centro de la parcela y estuvieron ausentes en la periferia con un subgrupo más cercano al bosque semillero adyacente. Este agrupamiento queda de manifiesto en la Figura 11 (segundo panel). Tanto para el caso de *N. antarctica* como *E. coccineum*, ambas especies mostraron un patrón agrupado (Fig. 11, tercer panel). Por otro lado el análisis con la función L cross mostró que *E. coccineum* y *N. antarctica* se “atraen” desde los 0 metros hasta al menos los 8 metros en el eje x (Fig. 11, panel inferior).

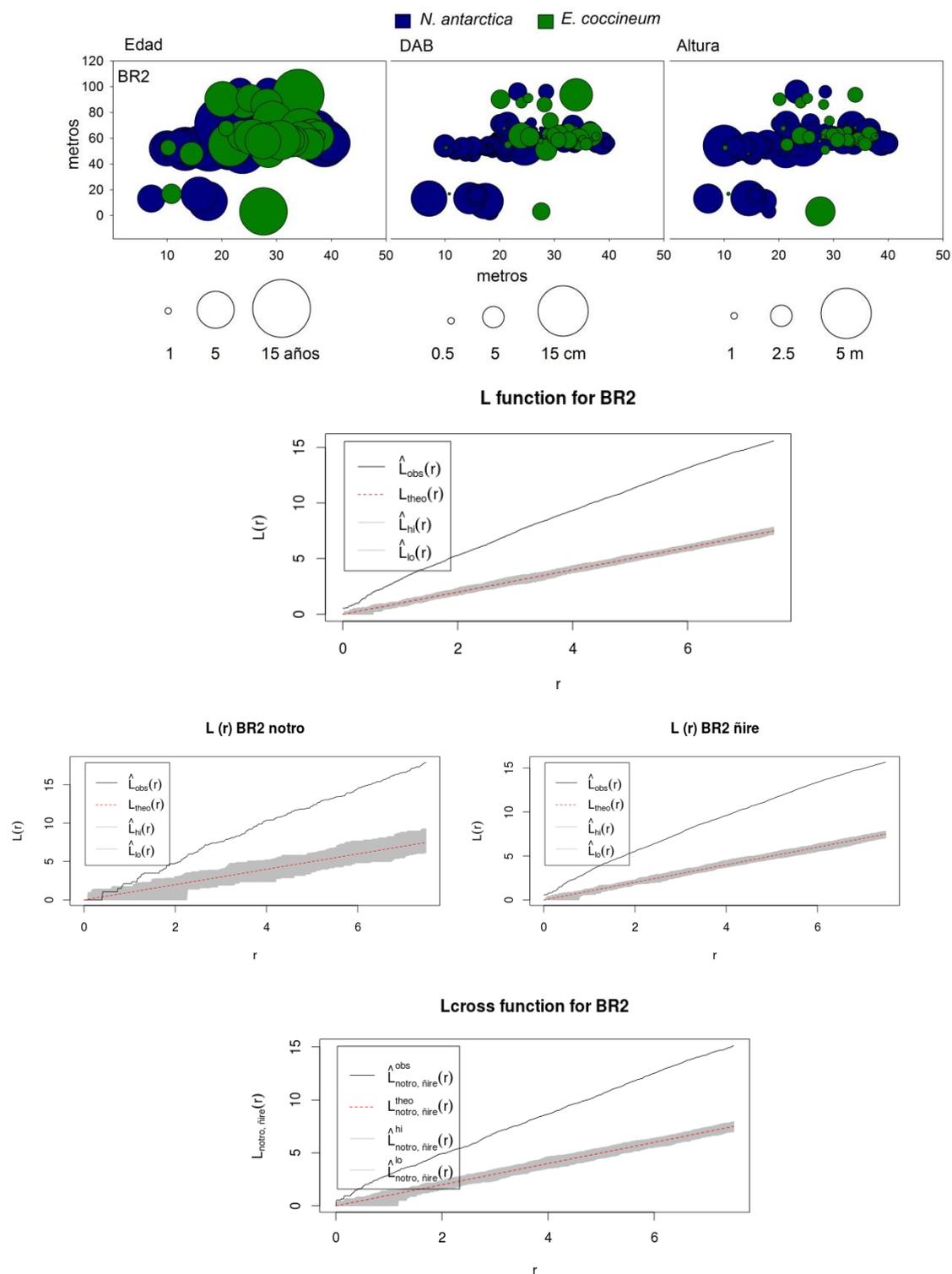


Figura 11. Panel superior, representación de la distribución espacial de renovales discriminados por edad, DAB y altura. Segundo panel, función L univariada que muestra un patrón agrupado para todos los renovales presentes en la parcela. Tercer panel, función L univariada muestra que *E. coccineum* y *N. antarctica* están agrupados. Panel inferior, función L cross muestra que *E. coccineum* y *N. antarctica* presentan atracción significativa.

En la parcela BR3, los individuos se presentaron agrupados con dos subgrupos bien definidos, uno en el sector cercano al bosque semillero y otro concentrado en el sector medio de la parcela, esto se puede apreciar en el análisis efectuado para todos los renovales presentes en la Figura 12, panel inferior.

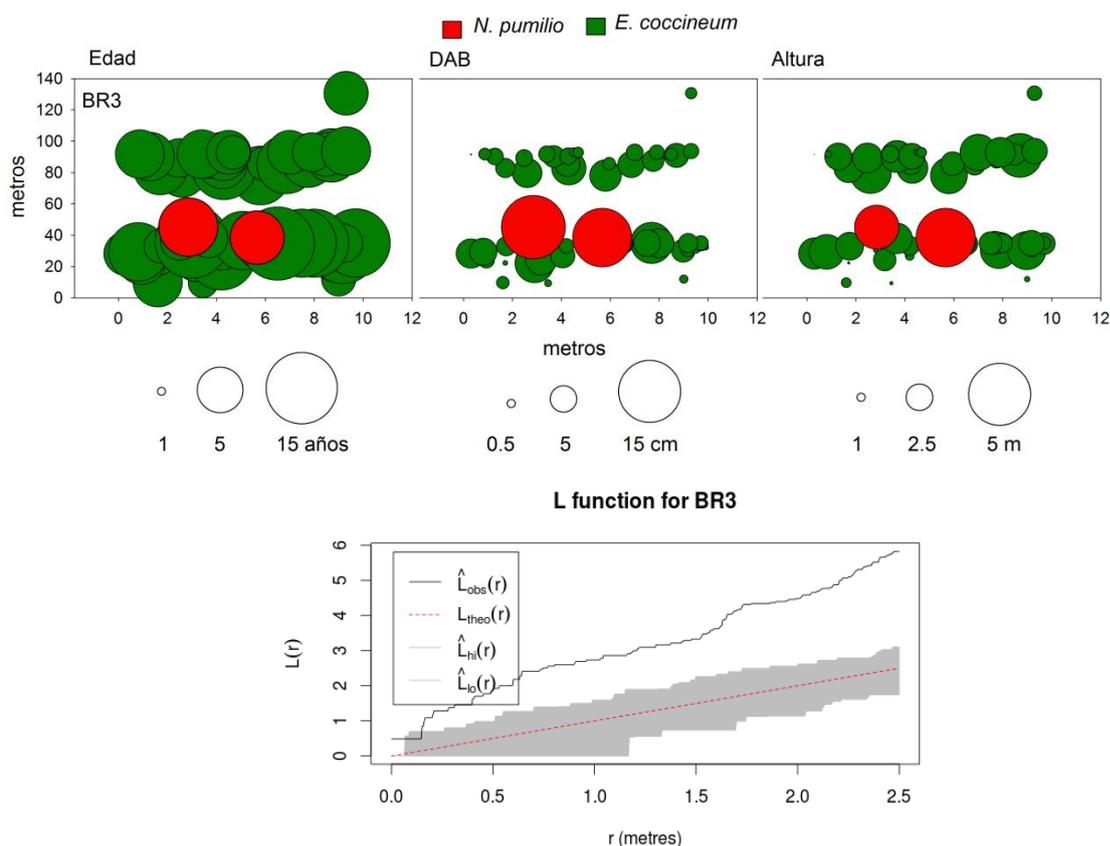


Figura 12. Panel superior, representación de la distribución espacial de renovales discriminados por edad, DAB y altura. Panel inferior, función L univariada que determina un patrón agrupado.

En la parcela BR4, el patrón fue similar, aunque con todos los individuos concentrados en dos subgrupos, con individuos cercanos al bosque semillero y luego ejemplares más dispersos en la mitad de la parcela, más próximos al lago. El agrupamiento de todos los individuos presentes queda de manifiesto en el análisis espacial de la Figura 13 (segundo panel). Al discriminar por especies, *N. pumilio* se presentó agrupado mientras que *E. coccineum* no mostró un patrón definido probablemente debido al bajo número de árboles ($n = 14$) (Fig. 13, tercer panel). El análisis con la función L cross presentó un área donde no se observó atracción o repulsión significativa entre *E. coccineum* y *N. pumilio*, probablemente debido al número bajo de individuos (Fig. 13, panel inferior).

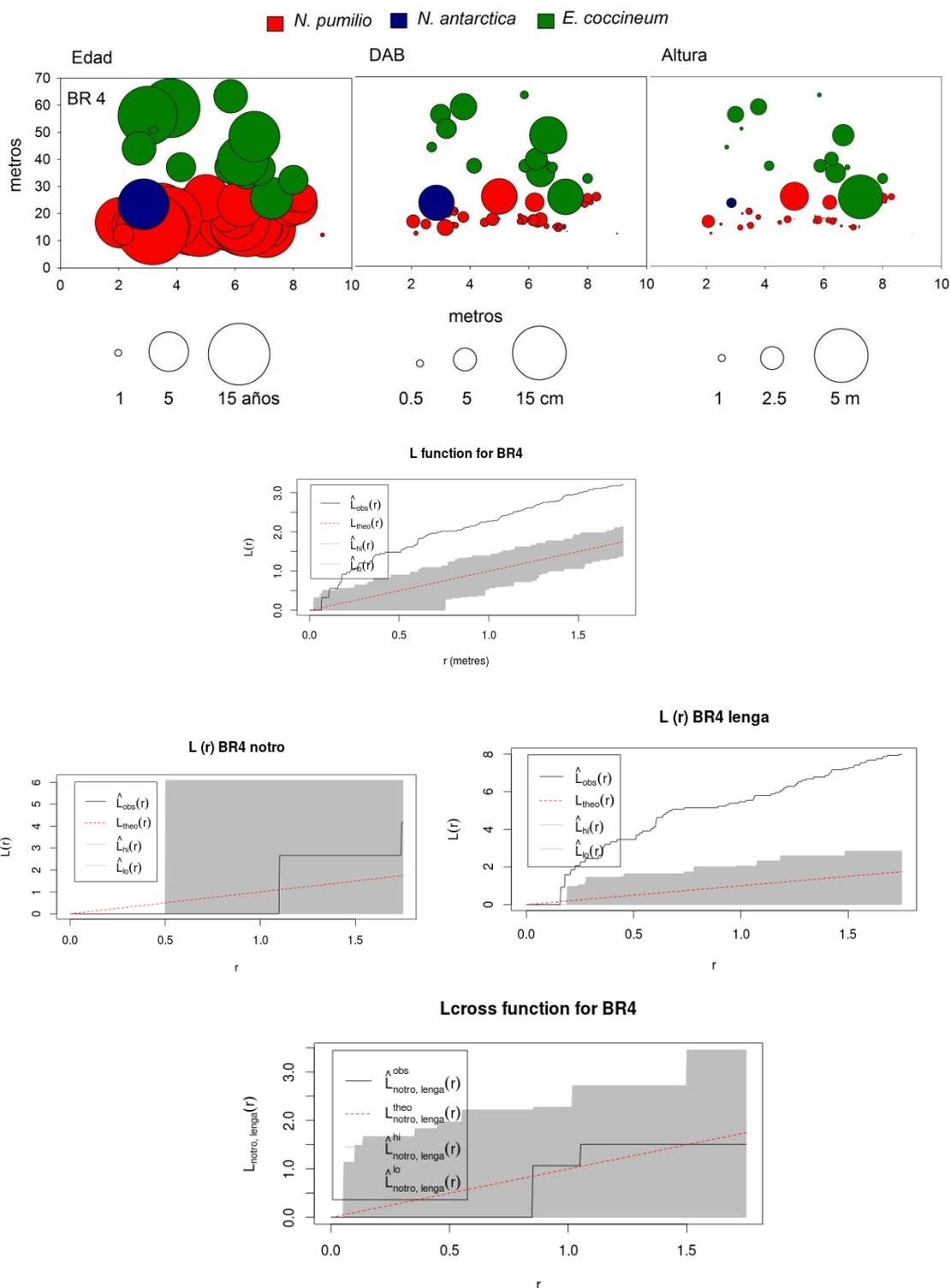


Figura 13. Panel superior, representación de la distribución espacial de renovales discriminados por edad, DAB y altura. Segundo panel, función L univariada para todos los renovales presentes, indicando un patrón agrupado de los renovales. Tercer panel función L univariada no muestra un patrón definido para *E. coccineum* mientras que *N. pumilio* se presentan agrupados. Panel inferior, la función L cross no registra atracción o repulsión significativa entre los individuos de *E. coccineum* y *N. pumilio*.

Los renovales presentes en BR5 mostraron un patrón muy similar a BR3, en ambas parcelas hubo dos grupos bien definidos (Fig. 14, panel superior), lo cual resultó consistente con el análisis espacial que claramente mostró una distribución agrupada (Fig. 14, segundo panel). Para las tres especies presentes *N. betuloides*, *N. pumilio* y *E. coccineum* se observó un patrón agrupado (Fig.14, tercer panel). Por medio de la función L cross se pudo constatar que *E. coccineum* y *N. pumilio*; *N. betuloides* y *N. pumilio*; y *E. coccineum* y *N. betuloides* registran atracción significativa (Fig. 14, panel inferior).

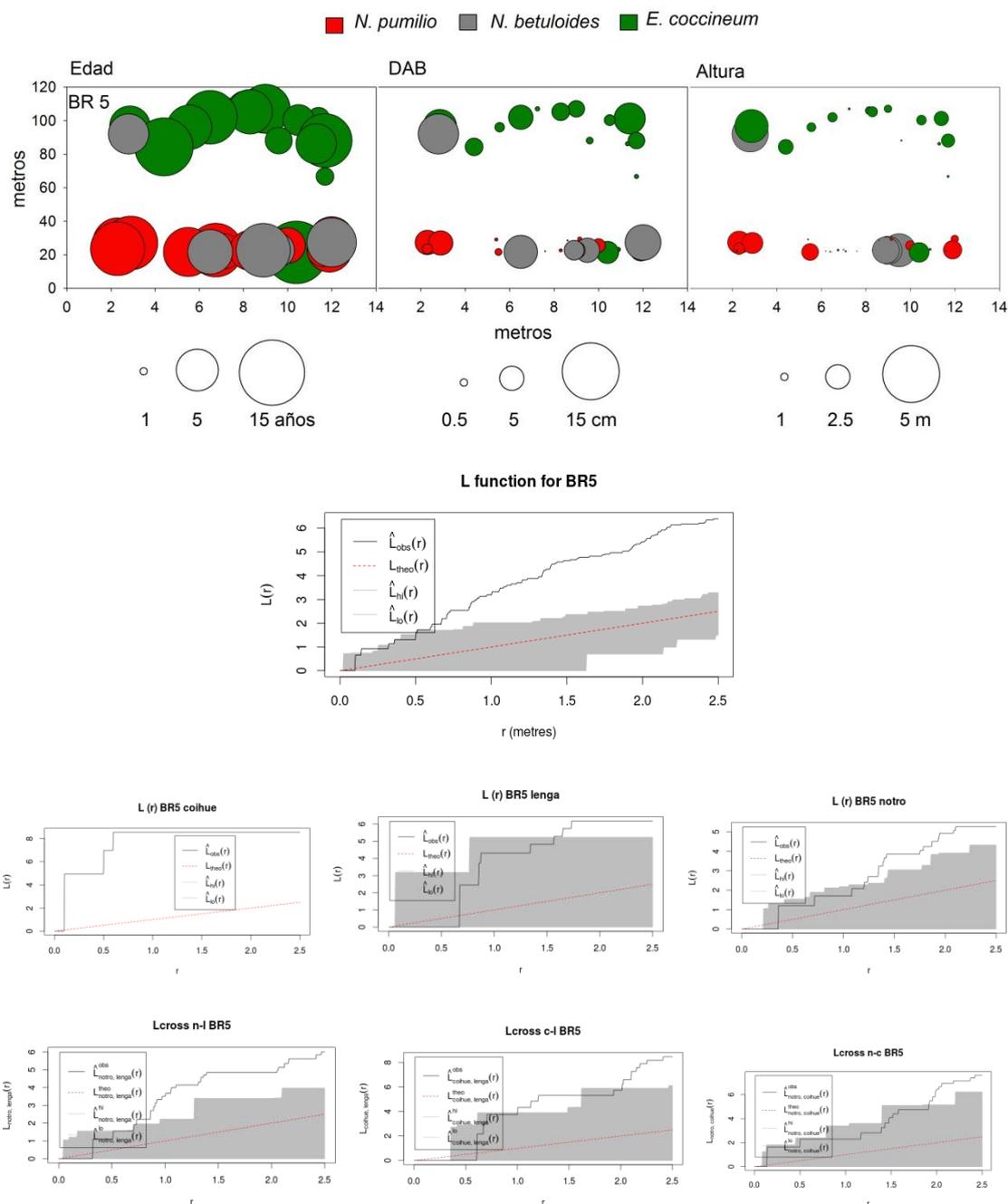


Figura 14. Panel superior, representación de la distribución espacial de renovales discriminados por edad, DAB y altura. Segundo panel, la función L univariada para todos los renovales presentes confirma las agrupaciones observadas en las figuras del panel superior. Tercer panel, la función L univariada muestra un patrón agrupado para *N. betuloides*, *N. pumilio* y *E. coccineum*. Panel inferior, función L cross registra atracción significativa entre *N. betuloides*, *E. coccineum* y *N. pumilio*.

En BR6 se observa que los renovales en su totalidad forman un grupo a lo largo de la parcela desde el bosque al lago, con algunos ejemplares dispersos hacia el centro de la parcela, esto queda de manifiesto con el análisis espacial en la Figura 15 (segundo panel). Por otro lado, discriminando las especies, *N. betuloides* y *E. coccineum* también se presentaron agrupadas (Fig. 15 tercer panel). Por medio de la función L cross se pudo determinar que no hay asociación entre las especies de *E. coccineum* y *N. betuloides* al estar muy próximas las líneas y superponerse en algunos sectores (Fig. 15 panel inferior), lo cual se puede observar visualmente en el primer panel de la Figura 15.

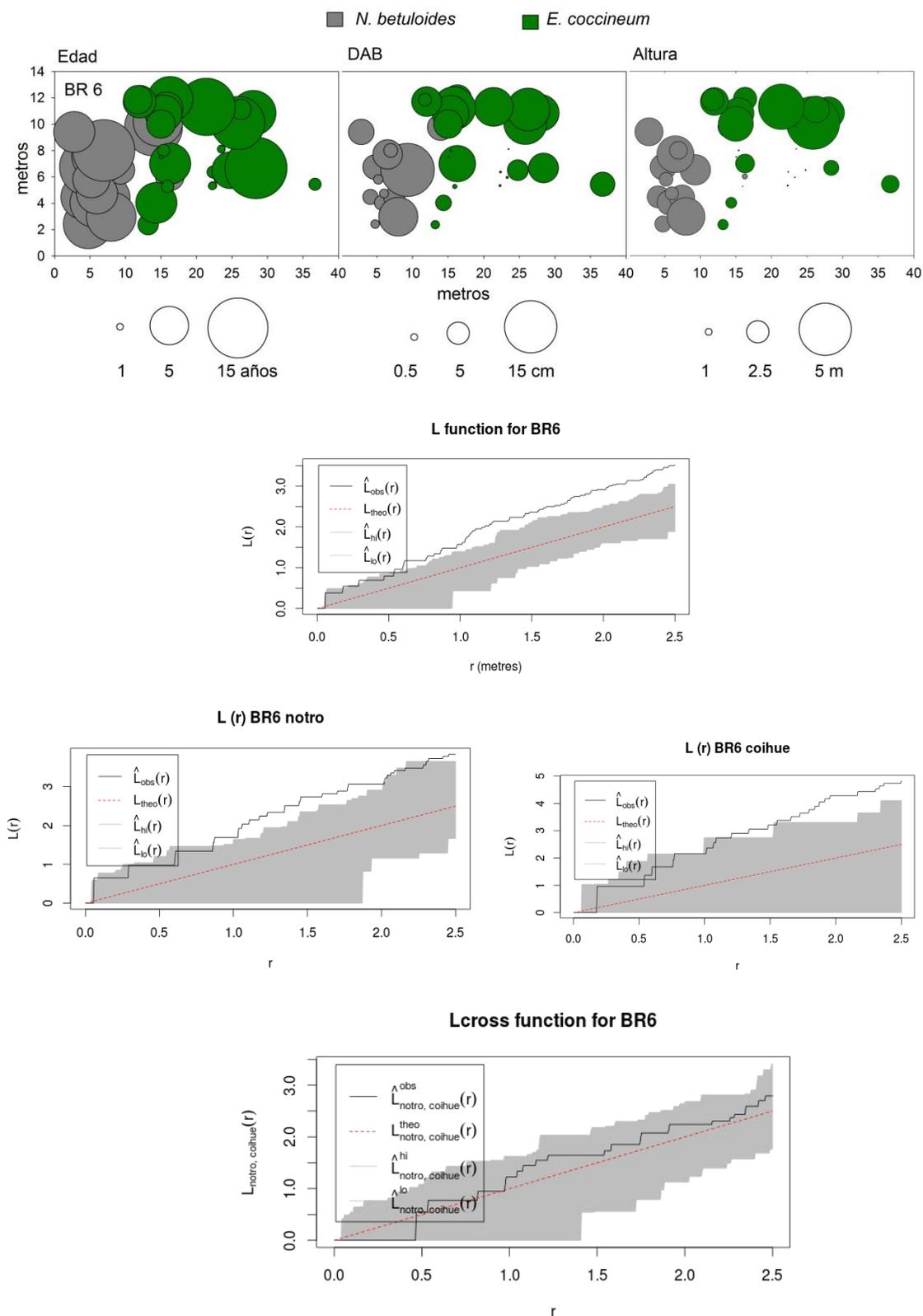


Figura 15. Panel superior, representación de la distribución espacial de renovales discriminados por edad, DAB y altura. Segundo panel, función L univariada para todos los renovales presentes, el cual determina un patrón agrupado. Tercer panel,

la función L univariada muestra un patrón agrupado para cada especie *E. coccineum* y *N. betuloides*. Panel inferior, función L cross representa que no hay atracción significativa entre *E. coccineum* y *N. betuloides*.

Patrones espaciales de distribución: Sector Brazo Sur – Las Monedas

La distribución espacial por parcela de los renovales en la costa Oeste del Brazo Sur – Las Monedas también se presentó agrupada, consistente con los resultados de la función L univariada. En los mapas espaciales se representaron los renovales con círculos según las variables edad, DAB y altura. Con la misma función L univariada se evaluó el agrupamiento de cada una de las especies presentes. Por último con la función L bivariada o Lcross se describió el patrón espacial de un conjunto de puntos con respecto a otro conjunto de puntos.

La parcela BS1 presentó a los individuos agrupados con un subgrupo algo disperso en la mitad de la parcela más cercana al bosque semillero y otro subgrupo más compacto ubicado hacia la costa del lago Figura 16 (panel superior).

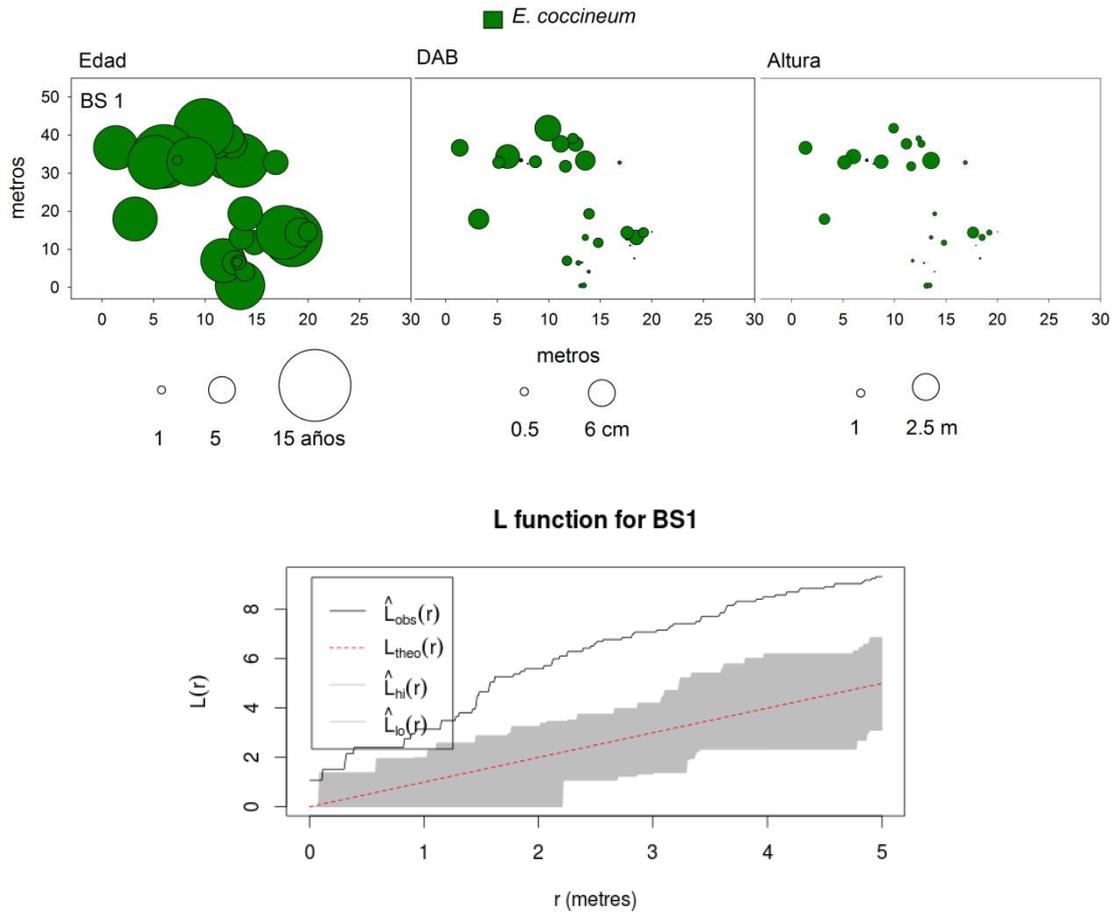


Figura 16. Panel superior, representación de la distribución espacial de renovales discriminados por edad, DAB y altura. Panel inferior, la función L univariada determina que existe un patrón agrupado.

En la parcela BS2 todos los individuos se presentaron agrupados separándose levemente en dos subgrupos con renovales ubicados en la mitad de la parcela más cercana hacia el lago Figura 17.

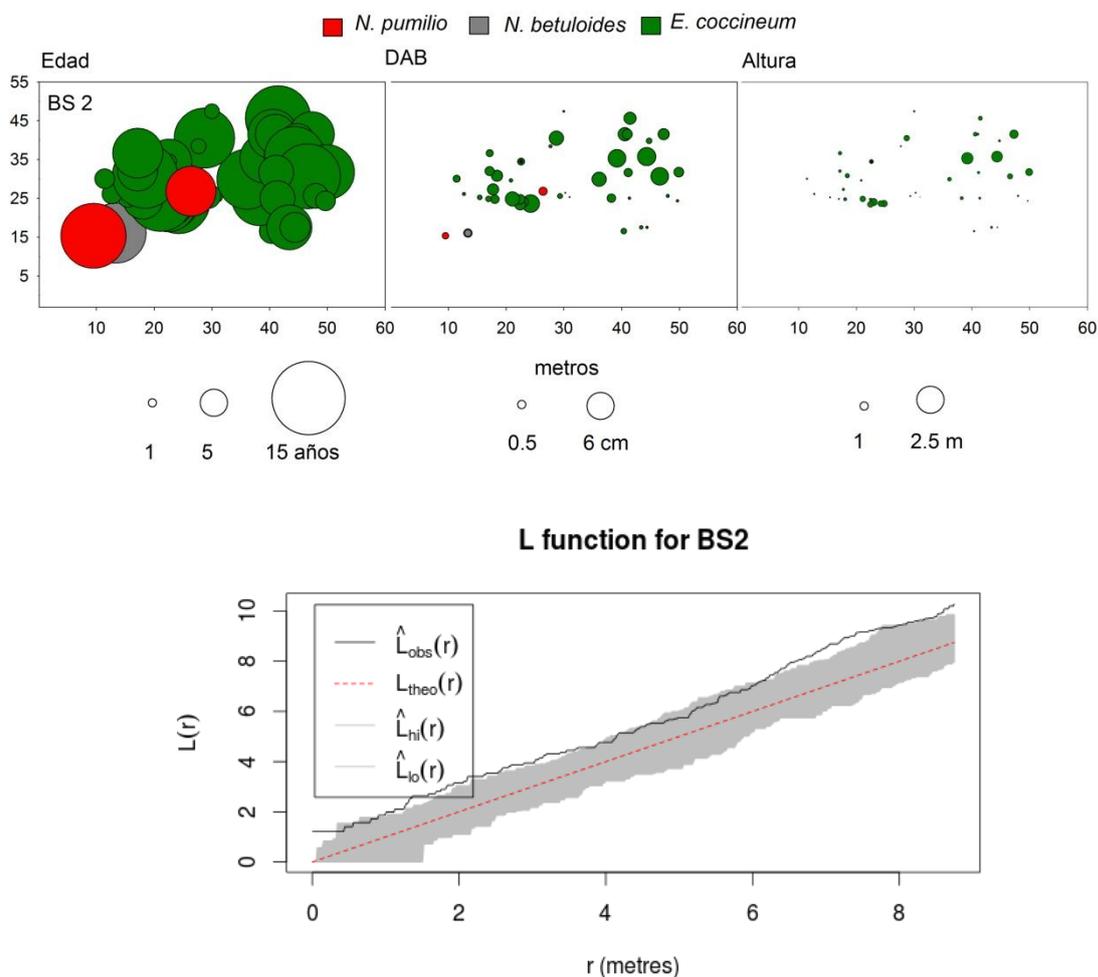
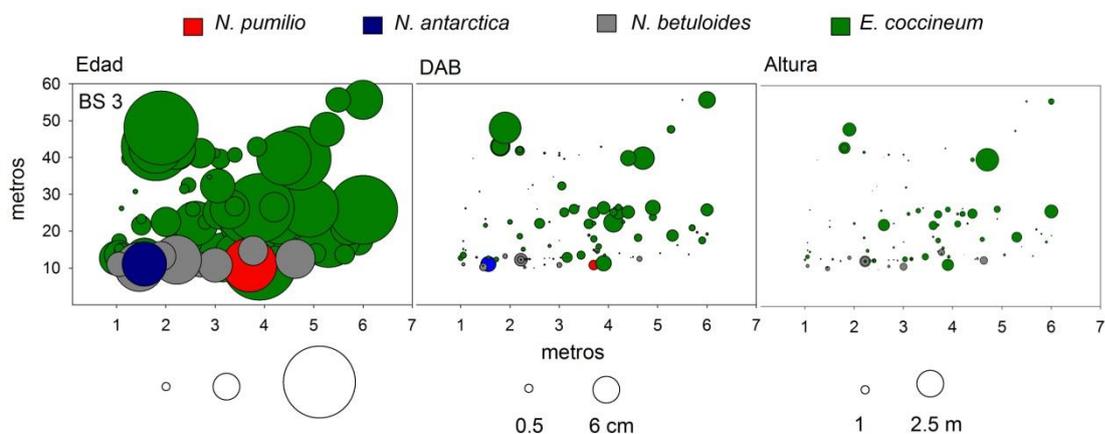


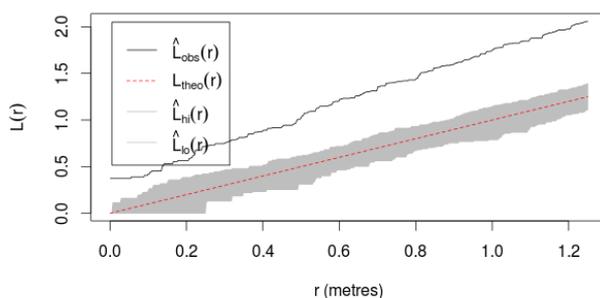
Figura 17. Panel superior, representación de la distribución espacial de renovales discriminados por edad, DAB y altura. Panel inferior, la función L univariada determina que existe un patrón agrupado para todos los renovales presentes.

Por otro lado, en BS3 todos los individuos presentes se encontraron agrupados, en el sector de la parcela más cercano al bosque semillero y con algunos ejemplares dispersos hacia la costa del lago. Esta distribución espacial queda de manifiesto en el análisis de la Figura 18 (segundo panel). Del mismo modo, al discriminar por especies, tanto *E.coccineum* como *N. betuloides* se presentaron agrupados (Fig. 18, tercer panel). Por medio de la función L cross se

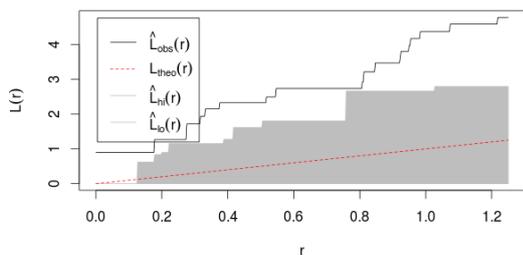
pudo establecer que *E. coccineum* y *N. betuloides* registraron atracción significativa (Fig. 18, panel inferior).



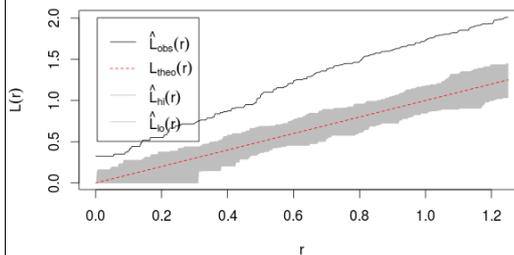
L function for BS3



L (r) BS3 coihue



L (r) BS3 notro



Lcross n-c BS3

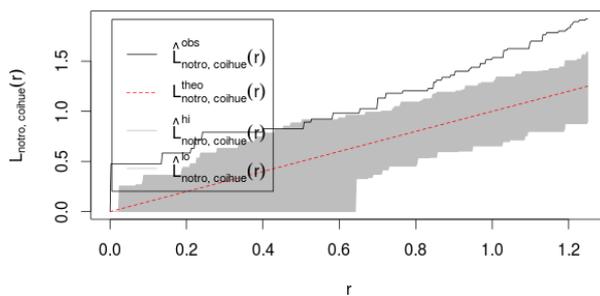


Figura 18. Panel superior, representación de la distribución espacial de renovales discriminados por edad, DAB y altura. Segundo panel, función L univariada para todos los renovales presentes, determina un patrón agrupado. Tercer panel, la función L univariada muestra un patrón agrupado discriminado por especies para *E. coccineum* y *N. betuloides*. Panel inferior, la función L cross representa atracción significativa entre *E. coccineum* y *N. betuloides*.

El arreglo espacial de todos los individuos presentes en la parcela TLM también fue de tipo agrupado (Fig. 19, panel superior). Lo cual queda de manifiesto por medio del análisis espacial de la Figura 19, (panel inferior).

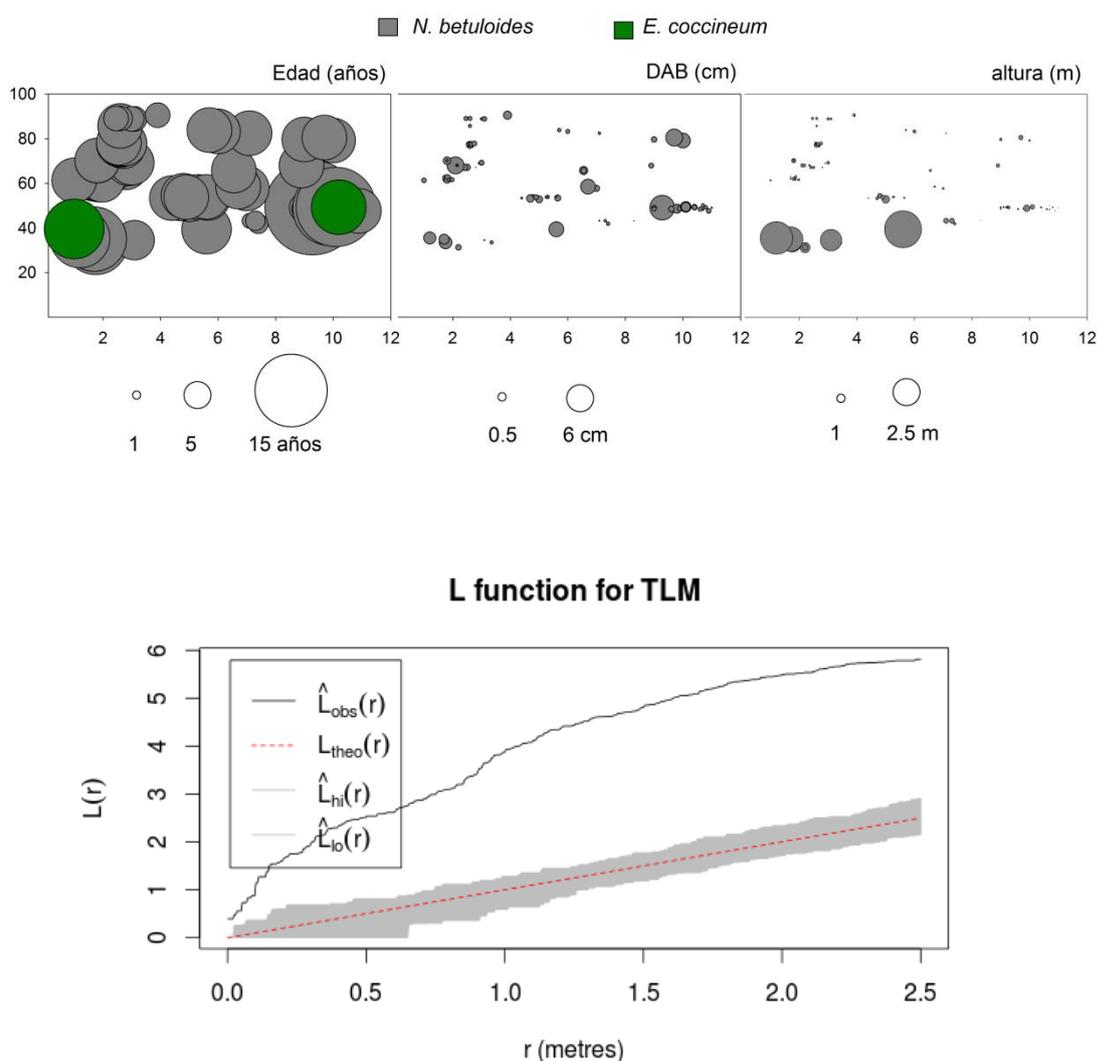


Figura 19. Panel superior, representación de la distribución espacial de renovales discriminados por edad, DAB y altura. Panel inferior, función L univariada que determina un patrón agrupado para todos los renovales presentes.

4.4 Discusión

Composición y estructura

En cuanto a la riqueza de especies, las tres especies de *Nothofagus* presentes en los bosques aledaños al igual que *E. coccineum*, recolonizaron las costas de los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino. No se registraron individuos de *D. winteri* y *P. uviferum* pero su ausencia en las parcelas muestreadas es consistente con la autoecología de ambas especies. Si bien *D. winteri* está presente en el sector Oeste del Brazo Sur, esta especie no coloniza terrenos recientemente disturbados como es el caso de las costas inundadas, formando principalmente, parte del estrato inferior de los bosques húmedos dominados por *N. betuloides*. Por su lado, los bosques de *P. uviferum* son muy escasos en la región y están concentrados en suelos de turberas permanentemente anegados (Donoso 1993). Esta situación edáfica no está presente en ninguna de las parcelas de muestreo.

La distribución de las especies claramente refleja el gradiente de precipitación con ambientes secos a méxicos en el sector Este y húmedos a muy húmedos en el sector Oeste del área de estudio. Las parcelas ubicadas hacia el extremo Este (BR1, BR2) fueron colonizadas principalmente por *N. antarctica*, superando esta especie el 80% de los renovales establecidos. Esta zona se corresponde con el bosque magallánico méxico a xérico. En las parcelas BR4 y BR5 la especie dominante fue *N. pumilio* con más de un 60% de los renovales. Aquí los rodales circundantes son característicos de bosques méxicos a húmedos. Hacia el extremo Oeste en el sector más húmedo del área de estudio, no se registró colonización por parte de *N. pumilio* y/o *N. antarctica*, dominaron *N. betuloides* y *E. coccineum* en proporciones similares (BR6). Los bosques aledaños corresponden a la formación típica de bosques húmedos a sub – húmedos. Al igual que en la costa Oeste del Brazo Sur y costa Sur del Brazo Rico, donde las especies colonizadoras más abundantes fueron *N. betuloides* y *E. coccineum*.

Estos resultados son consistentes con otros análisis de la composición de los bosques a lo largo de los gradientes de precipitación Oeste - Este realizados en los Andes Patagónicos (Burgos 1985; Armesto, Mitchell y Villagrán 1986; Roig 1998). Si bien en casi todos los casos, las especies colonizadoras correspondieron a las de

los bosques aledaños, *E. coccineum* estuvo presente en todos los ambientes sin ser dominante en ninguno de los bosques aledaños, evidenciando las características de especie colonizadora de ambientes disturbados ya registrada en otros lugares de los Andes del Sur de la Patagonia (Roig 1998).

Las edades de los renovales establecidos post disturbio son consistentes con la ocurrencia del endicamiento cercano a los máximos históricos de los Brazos Rico y Sur por el Glaciar Perito Moreno en el año 1988. Teniendo en cuenta el año 2004 como fecha unificada de muestreo para todas las parcelas, el rango de edad fue entre 1 – 17 años con edades medias de 5 – 10 años. Esta variable fue la más homogénea dentro de cada una de las parcelas y entre las mismas. Por el contrario, en relación a las variables altura y DAB, estas difirieron sustancialmente entre sitios al comparar la costa Norte del Brazo Rico con la costa Sur de este canal y el Brazo Sur.

Estas diferencias podrían deberse a la presencia de ganado cimarrón en los sitios sobre la margen Oeste del Brazo Sur. La presencia de animales baguales se remonta a épocas anteriores a la creación del Parque Nacional Los Glaciares (Parques Nacionales, 1997). El ramoneo de renovales por ganado bagual afectaría en forma negativa el desarrollo en altura de los árboles establecidos. A su vez los árboles en los sitios con presencia de ganado presentan una diferencia significativa en cuanto al número de fustes. Lo cual podría considerarse también como una medida indirecta de la herbivoría (Fig. 4).

Los resultados de este trabajo son consistentes con los estudios de Blackhall *et al.* (2008) en los bosques de *Nothofagus* del Norte de Patagonia. Allí, la presencia de ganado afectó la regeneración posterior a un incendio en un rodal de *Nothofagus* – *Austrocedrus*. Estos autores sostienen que si bien no hubo cambios en la cobertura total y la riqueza de especies, sí se registró una reducción en la altura máxima de las especies leñosas. En ambientes diferentes al de la zona de estudio, en la estepa patagónica y el monte se observó que por efecto del pastoreo diferentes especies de arbustos presentaron más fustes, fueron de tamaño menor y el incremento acumulado también resultó ser menor (Bisigato y Bertiller 1997; Srur *et al.* 2013).

Es importante mencionar que en algunos sectores el efecto negativo del pastoreo es tan intenso que logra contrarrestar las posibles “ventajas” ambientales que los sitios más húmedos pueden ofrecer a las especies estudiadas. La mayor precipitación en los sitios húmedos debería reducir el déficit hídrico durante la estación de crecimiento y favorecer el desarrollo de los árboles. Sin embargo, el consumo y destrucción de biomasa de los renovales por parte del ganado no permite que estas “ventajas” ambientales se expresen en el crecimiento. Resultaría muy valioso realizar un estudio de clausuras a largo plazo que permita cuantificar el efecto del pastoreo y ramoneo por parte del ganado bovino cimarrón presente en el Parque Nacional Los Glaciares sobre el crecimiento y la regeneración del bosque.

Patrones espaciales y temporales

En cuanto al establecimiento de nuevas cohortes, Oliver y Larson (1996) postulan que los disturbios tienen un profundo efecto sobre el desarrollo de los bosques al eliminar árboles y hasta, a veces, toda la vegetación existente de un lugar, liberando espacio para el crecimiento (growing space) y dejándolo disponible para que otras plantas lo ocupen. Según estos autores la composición de los bosques está fuertemente influenciada por disturbios, sean estos naturales y/o antrópicos.

En este contexto, la dispersión de las semillas resulta un estadio clave en la historia de vida de las plantas puesto que determina el patrón inicial de distribución de los renovales. En estudios a nivel mundial se ha visto que en los árboles con frutos carnosos la dispersión de las semillas está asociada a una fuerte interacción con animales, de las más diversas clases según los ambientes de que se trate. Por ejemplo las aves resultan efectivas dispersoras de especies tropicales como *Dendropanax arboreus* en México (Figuroa-Esquivel *et al.* 2009). Emus, canguros y conejos influyen en la dispersión de plantas tanto nativas como exóticas en Australia (Calvino-Cancela 2011). En la Patagonia, en lugar de los animales, es la gravedad y el viento quienes juegan un papel preponderante en la dispersión de las semillas. Existe gran variación en cuanto a la distancia media alcanzada por las semillas de distintas especies de *Nothofagus*. Por ejemplo en Patagonia Norte se encontró que

las semillas pequeñas y livianas de *N. dombeyi* se dispersaron más efectivamente que las semillas pesadas de *N. alpina* (Veblen *et al.* 1996).

En la zona de estudio, tanto las tres especies de *Nothofagus* como *E. coccineum* presentan anemocoria. Los renovales de *N. antarctica* y *E. coccineum* se ubicaron a mayores distancias del bosque semillero, seguidos por *N. betuloides* y por último *N. pumilio*. Esto resultó consistente con trabajos realizados en el Norte de Patagonia a los 41° Sur donde Rush (1993) encontró que las semillas de *N. pumilio* caían muy cerca de la copa de los árboles productores. Para la misma especie en el límite altitudinal del bosque en El Chaltén 49° Sur, el asentamiento de nuevos individuos raramente superó los 30 m de los *N. pumilio* parentales (Sruur, comunicación personal). En Tierra del Fuego, también en el límite altitudinal del bosque, semillas de *N. pumilio* fueron registradas a 20 m de distancia con casos puntuales a 40 m y hasta 80 m (Cuevas 2000).

La dispersión diferencial de las semillas en cuanto a la distancia alcanzada para las especies estudiadas podría estar relacionada con el tamaño y peso de las mismas, donde las semillas de *N. pumilio* serían más pesadas que las de *N. antarctica* y *N. betuloides*. Por otra parte, las semillas de *E. coccineum* tendrían mayores ventajas al estar dotadas de un ala membranácea ideal para ser dispersadas por el viento, lo cual explicaría su ubicuidad a mayores distancia. Aunque las distancias relativamente cortas de dispersión para las semillas de *N. pumilio* resultan difíciles de explicar dado el tamaño reducido de sus frutos y la fuerza de los vientos preponderantes en la región de estudio.

Al momento de evaluar el establecimiento de árboles en las costas afectadas por las inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno se realizó durante el período más extenso sin inundaciones registrados para los siglos XX y XXI (abarcando un lapso de 16 años comprendido entre 1988 al año 2004) (capítulo 2). El embalse previo a la ruptura del año 1988 alcanzó 21 m, valor cercano a la cota máxima 23.5 m registrada en la década de 1950. La comunidad vegetal que habría logrado establecerse posteriormente a la ruptura de 1956 y que paulatinamente fue afectada por los endicamientos de menor altura entre los años 1960 a 1984 (Capítulo III), fue totalmente devastada por la inundación que duró 4 años previos a la ruptura del Glaciar Perito Moreno del día 17 de febrero de 1988. Luego de este

evento la colonización de árboles se inició inmediatamente sobre las costas a partir del retiro de las aguas.

Durante los tres primeros años posteriores a la liberación del espacio, dejado disponible por el agua de la inundación, se establecieron *E. coccineum* y dos *Nothofagus*: *N. antarctica* y *N. pumilio*, mientras que *N. betuloides* se reclutó al tercer año solamente en BR6, en el cuarto año apareció en BS2 y recién al quinto año en TLM. A partir de cinco años posteriores al evento de inundación las cuatro especies arbóreas estuvieron presentes, salvo en el año 2001 donde no hubo reclutamiento de *N. pumilio*. A partir del año 2002 no se establecieron ejemplares de *N. antarctica*, lo cual podría estar relacionado con eventos climáticos desfavorables para el establecimiento de estas especies.

Los años 1994 - 1995 y 2000 fueron los que tuvieron mayor reclutamiento teniendo en cuenta las cuatro especies arbóreas presente, probablemente relacionado a pulsos de mayores precipitaciones, temperaturas más altas, o mayor producción de semillas. *N. betuloides* presentó mayor reclutamiento en año 2006 en TLM, pero esta parcela en particular, fue la única que se muestreó en el año 2012. Lamentablemente, los muestreos en otras parcelas del Brazo Sur se realizaron con anterioridad al año 2006.

Los resultados de este trabajo, registrados sobre costas lacustres de inundación, difieren con la colonización en morenas glaciares en Torres del Paine en el Sur de Chile, donde *N. betuloides* colonizó primero y posteriormente apareció *N. antarctica* (Armesto, Casassa y Dollenz. 1992; Dollenz, Henríquez y Domínguez 2012). Estos autores también reportaron la ausencia de *N. pumilio* en las morenas a pesar de formar parte de los bosques aledaños, postulando que esta especie necesitaría suelos más desarrollados para su establecimiento. Sin embargo, las observaciones en Torres del Paine (Armesto, Casassa y Dollenz 1992; Dollenz, Henríquez y Domínguez 2012) contrastan con las realizadas en el sector Norte del Lago Argentino donde, también sobre un ambiente de complejo morénico, en el Glaciar Seco, se evaluaron las trayectorias sucesionales según diferentes exposiciones, pendientes y localización. En este marco, los componentes arbóreos de *Nothofagus spp.* se reclutaron en una cuarta fase sucesional teniendo en cuenta otras comunidades vegetales que incluyen algas, musgos, líquenes y plantas vasculares herbáceas, además de arbustos y árboles. Los tiempos de colonización,

la riqueza y asociación de especies varió significativamente entre sitios según las variables mencionadas (Garibotti, Pissolito y Villalba 2011).

Aún tratándose de bosques con los mismos componentes y a latitudes comparables, queda en evidencia las diferencias existentes entre ambientes disponibles a ser colonizados como pueden ser las costas lacustres y los complejos morénicos. Las condiciones y características del suelo, como así también la microtopografía se encontrarían entre las principales variables implicadas en el proceso de colonización por parte de los renovales arbóreos. Bajo condiciones de sitio apropiadas, el establecimiento de renovales de todas las especies de *Nothofagus*, pueden ser extremadamente abundantes. Por ejemplo la densidad de renovales (plantas menores a 1 m de altura) generalmente exceden 100000/ha para *N. pumilio* y *N. betuloides*. El establecimiento para todos los *Nothofagus* resulta mejor bajo niveles moderadamente altos de luz y donde han quedado expuestos suelos minerales desnudos (Veblen *et al.* 1981; Rebertus y Veblen 1993).

En cuanto a la distribución espacial de los renovales en las costas colonizadas se pudo observar que todos los individuos se presentaron agrupados, asociándose no solamente los ejemplares de una misma especie, sino también los de diferentes especies entre sí. A pesar de existir una amplia franja costera disponible para ser ocupada, con lo cual se esperaría una utilización aleatoria del espacio, los individuos presentaron tendencias significativas al agrupamiento. Los vientos fuertes y desecantes de la Patagonia puede ser un severo impedimento para la regeneración de *Nothofagus* en grandes áreas expuestas (Kalela 1941; Schmidt y Urzua 1982) sin embargo, el hecho de encontrar patrones de agrupamiento en los renovales presentes en las costas lacustres, podría deberse a sectores con protección del viento, impidiendo la desecación del suelo y la permanencia de semillas o propágulos. En forma similar a lo observado sobre morenas recientemente formadas por actividad glacial, la presencia de micrositos con diferencias edáficas podría también contribuir a explicar esta distribución en parches de los renovales en las parcelas estudiadas. Por ejemplo, un establecimiento inadecuado de *N. pumilio* ha sido asociado con insuficiencia de humedad edáfica (Rush 1992).

Por otro lado, en cuanto a la distribución espacial con respecto a la edad, no se registraron patrones claros de establecimiento. Esto puede estar relacionado con el corto tiempo transcurrido desde el último endicamiento de gran envergadura ocurrido previamente a la ruptura de 1988. Con lo cual no se encontraron individuos reproductivos que hayan podido generar nuevos pulsos de colonización.

La colonización por parte de las especies arbóreas en sitios post disturbio como este caso, podría ser analizada en trabajos posteriores con estudios continuos a largo plazo de estos procesos de colonización en terrenos abandonados por las inundaciones. Estos estudios serían muy deseables considerando otros efectos concurrentes. Por ejemplo, se sabe que *N. pumilio* presenta pulsos de producción de semillas, aproximadamente cada seis a ocho años, conocidos como años “masting” (Mascareño 1987; Schmidt, Caldentey y Pefia 1997). El hecho de contar con una franja de costa expuesta constituye una situación ideal para evaluar la colonización en bosques a baja altitud, por ejemplo utilizando trampas de semillas. Para el estudio de dinámica de bosques la escala de rodal ha resultado ser una de las más adecuadas y, por sobre todo, para la instalación de parcelas permanentes con el consecuente seguimiento a largo plazo (Oliver y Larson 1996).

4.5 Bibliografía

- Amoroso, M.M. Larson, B.C. (2010) Stand development patterns as a consequence of the mortality in *Austrocedrus chilensis* forests. *Forest Ecology and Management* Elsevier B.V. 259, 1981–92.
- Amoroso, M.M. Suarez, M.L. Daniels, L. (2012) *Nothofagus dombeyi* regeneration in declining *Austrocedrus chilensis* forests: Effects of overstory mortality and climatic events. *Dendrochronologia* 30, 105–12.
- Armesto, J.J. Casassa, G. Dollenz, O. (1992) Age structure and dynamics of Patagonian beech forests in Torres del Paine National Park , Chile. *Vegetatio* 98, 13–22.
- Armesto, J.J. Mitchell, J. Villagrán, C. (1986) A comparison of spatial patterns of trees in some tropical and temperate forests. *Biotropica* 18, 1–11.
- Baddeley , A. Turner, R. (2005) Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns. *Journal of Statistical Software* 12 (6), 1-42.
- Bisigato, A. Bertiller, M. (1997) Grazing effects on patchy dryland vegetation in northern Patagonia. *Journal of Arid Environments* 36, 639–53.
- Blackhall, M. Raffaele, E. Veblen, T.T. (2008) Cattle affect early post-fire regeneration in a *Nothofagus dombeyi*–*Austrocedrus chilensis* mixed forest in northern Patagonia, Argentina. *Biological Conservation* 141, 2251–61.
- Burgos, J. (1985) Clima del extremo sur de Sudamérica., in: Boelcke, O., Moore, D.M., Roig, F.A. (Eds.), *Transecta Botánica de la Patagonia Austral*. Buenos Aires, Santiago, Londres, pp. 10 – 40.
- Calvino-Cancela, M. (2011) Seed dispersal of alien and native plants by vertebrate herbivores. *Biol. Invasions* 13, 895–904.
- Cavallin, N. Vasseur, L. (2009) Red spruce forest regeneration dynamics across a gradient from Acadian forest to old field in Greenwich, Prince Edward Island National Park, Canada. *Plant Ecology* 201, 169–80.
- Cuevas, J.G. (2000) Tree Recruitment at the *Nothofagus pumilio* Alpine Timberline in Tierra del Fuego, Chile. *Journal of Ecology*, Vol. 88, 5: 840-855.
- de la Cruz, R. (2006) Introducción al análisis de datos mapeados o algunas de las (muchas) cosas que puedo hacer si tengo coordenadas. *Ecosistemas* 15 (3), 19-39.
- Diggle, P.J. (2003) *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. 2ª ed. Arnold, London

- Di Rienzo, J.A. Casanoves, F. Balzarini, M.G. Gonzalez, L. Tablada, M. Robledo, C.W. (2011) InfoStat Versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dollenz, O. Henriquez, J. Domínguez, E. (2012) La vegetación de las geoformas proglaciares en los glaciares Balmaceda, Tyndall Taraba y Ema, Magallanes, Chile. *Anales Instituto Patagonia* 40, 7–17.
- Donoso, C. (1993) Bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria, Santiago, 678 pp.
- Fajardo, A. Alaback, P. (2005) Effects of natural and human disturbances on the dynamics and spatial structure of *Nothofagus glauca* in south-central Chile. *J. Biogeogr.* 32, 1811–25.
- Figueroa-Esquivel, E. Puebla-Olivares, F. Godínez-Álvarez, H. Núñez-Farfán, J. (2009) Seed dispersal effectiveness by understory birds on *Dendropanax arboreus* in a fragmented landscape. *Biodiversity Conservation* 18, 3357–65.
- Garibotti, I.A. Pissolito, C.I. Villalba, R. (2011) Spatiotemporal Pattern of Primary Succession in Relation to Meso-topographic Gradients on Recently Deglaciaded Terrains in the Patagonian Andes. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, Vol. 43, 4: 555–567
- González, M.E. Veblen, T.T. Sibold, J.S. (2010) Influence of fire severity on stand development of *Araucaria araucana*-*Nothofagus pumilio* stands in the Andean cordillera of south-central Chile. *Austral Ecology* 35, 597–615.
- Heinemann, H. Kitzberger, T. (2006) Effects of position, understory vegetation and coarse woody debris on tree regeneration in two environmentally contrasting forests of north-western Patagonia: a manipulative approach. *J. Biogeogr.* 33, 1357–67.
- Kalela, E.K. (1941) Über die Holzarten und die durch die klimatischen Verhältnisse verursachten Holzartenwechsel in den Wäldern Ostpatagoniens. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series A* 2:5-151. In: Veblen, T.T. Donoso, C. Kitzberger, T. Rebertus, A. (1996) Ecology of Southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forest, In: Veblen, T.T. Hall, R.S. Read, J. (Eds.), *The Ecology and Biogeography of Nothofagus forest*. Yale University Press, New Haven and London.
- Kitzberger, T. Veblen, T.T. Villalba, R. (2000) Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. *Manual Latinoamericano de Dendrocronología*. Roig, F. (ed.) Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.
- Klein, D. Fuentes, J.P. Schmidt, A. Schmidt, H. Schulte, A. (2008) Soil organic C as affected by silvicultural and exploitative interventions in *Nothofagus pumilio* forests of the Chilean Patagonia. *Forest Ecology and Management* 255, 3549–55.

Mascareño, A. (1987) Evaluación de ensayos de semillación y regeneración de Lenga (*N. pumilio*) bajo diferentes tratamientos a la cama de semillas en la Reserva Forestal Trapananda, Coyhaique. Tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Marcano-Vega, H. Mitchell Aide, T. Báez, D. (2002) Forest regeneration in abandoned coffee plantations and pastures in the Cordillera Central of Puerto Rico. *Plant Ecology* 161, 75–87.

Martínez-Pastur, G. Peri, P.L. Cellini, J. Lencinas, M. Barrera, M. Ivancich, H. (2011) Canopy structure analysis for estimating forest regeneration dynamics and growth in *Nothofagus pumilio* forests. *Annals of Forest Science* 68, 587–94.

Miina, J. Eerikainen, K. Hasenauer, H. (2006) Modeling Forest Regeneration, in: Hasenauer, H. (Ed.), *Sustainable Forest Management Growth Models for Europe*. Springer Verlag, Berlin.

Mundo, I.A. (2011) Historia de incendios en bosques de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch de Argentina a través de un análisis dendroecológico. Universidad Nacional de La Plata.

Oliver, C.D. (1981) Forest Development in North America following major disturbances. *Forest Ecology and Management* 3, 153–68.

Oliver, C.D. Larson, B.C. (1996) *Forest Stand Dynamics*. Jhon Wiley & Sons. Inc. USA., 509 pp.

Parques Nacionales, A. (1997) Plan Preliminar de Manejo Parque Nacional Los Glaciares. Administración de Parques Nacionales, 173 pp.

Perez Moreau, R. (1959) Reseña Botánica sobre el Lago Argentino. Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico. 3, 58.

Rebertus, A. Veblen, T.T. (1993) Structure and tree-fall gap dynamic of old-growth *Nothofagus* forest in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Vegetation Science*, 4, 641–654.

Roig, F.A. (1998) La vegetación de la Patagonia., *Flora Patagónica*. INTA, Buenos Aires.

Roig, F.A. Anchorena, J. Dollenz, O. Faggi, A.M. Méndez, E. (1985) Las comunidades vegetales de la Transecta Botánica de la Patagonia Austral., in: Boelcke, O., Moore, D.M., Roig, F.A. (Eds.), *Transecta Botánica de la Patagonia Austral*. Buenos Aires, Santiago, Londres.

Rosenfeld, J. Navarro Cerrillo, R. Guzman Alvarez, J. (2006) Regeneration of *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser forests after five years of seed tree cutting. *Journal of Environmental Management* 78, 44–51.

Rush, V. (1992.) Principales limitantes para la regeneración de la lenga en la zona NE de su área de distribución. Variables ambientales en claros del bosque. In: Bava, J. Schmalz, J. (eds.), Actas Seminario de Manejo Forestal de la Lenga y Aspectos Ecológicos Relacionados. CIEFAP, Publicación Técnica, Esquel, Argentina 8: 61-73.

Rush, V. (1993) Altitudinal variation in the phenology of *Nothofagus pumilio* in Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 66, 131–41.

Schmidt, H. Urzua, A. (1982) Transformación y manejo de los bosques de lenga en Magallanes. *Ciencias Agrícolas* (Universidad de Chile, Santiago) 11: 1-62. In: Arturi, M.F., Frangi, J.L., Goya, J.F. (Eds.), *Ecología y Manejo de bosques de Argentina*. Editorial Universidad de La Plata, La Plata.

Schmidt, H. Caldentey, J. Pefia, K. (1997) Seguimiento forestal y ambiental del uso de los bosques de lenga. XII Región. CONAF, Intendencia de la XII Región Magallanes y Antartida Chilena. In: Cuevas, J.G., 2000. Tree Recruitment at the *Nothofagus pumilio* Alpine Timberline in Tierra del Fuego, Chile. *Journal of Ecology*, Vol. 88, 5: 840-855.

Schulman, E. (1956) *Dendroclimatic change in semiarid America*. University of Arizona Press, Tucson.

Srur, A.M. Golluscio, R.A. Villalba, R. Hodara, K. (2013) Grazing-induced morphological and growth rate changes in *Anarthrophyllum rigidum*, a Patagonian leguminous shrub. *Dendrochronologia* 31, 223–27.

Stokes, M.A. Smiley, T.L. (1968) *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press, Illinois, 73 pp.

Stuefer, M. (1999) *Investigations on Mass Balance and Dynamics of Moreno Glacier base on Field Measurements and Satellite Imagery*. University of Innsbruck, Austria, Innsbruck, 173.

Suarez, M.L. (2009) Efecto de las fluctuaciones climáticas sobre la dinámica de bosques de *Nothofagus dombeyi*, a lo largo de un gradiente ambiental en el norte de la Patagonia, Argentina. Tesis de la Universidad Nacional del Comahue, Bariloche.

Veblen, T. T. Donoso, C. Schlegel, Z.F.M. Escobar, B. (1981) Forest dynamics in southern-central Chile. *Journal of Biogeography* 8:211-47.

Veblen, T.T. Donoso, C. Kitzberger, T. Rebertus, A. (1996.) Ecology of Southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forest, in: Veblen, T.T. Hall, R.S. Read, J. (Eds.), *The Ecology and Biogeography of Nothofagus forest*. Yale University Press, New Haven and London.

Veblen, T.T. Kitzberger, T. Villalba, R. (2005) Nuevos paradigmas en ecología y su influencia sobre el conocimiento de la dinámica de los bosques del sur de Argentina

y Chile, in: Arturi, M.F. Frangi, J.L. Goya, J.F. (Eds.), *Ecología y Manejo de bosques de Argentina*. Editorial Universidad de La Plata, La Plata.

Villalba, R. (2000) Métodos en Dendrogeomorfología y su potencial uso en América del Sur, in: Roig, F.A. (Ed.), *Dendrocronología en América Latina*. EDIUNC Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, pp. 103–34.

Wiegand, T. Moloney, K.A. (2004) Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *OIKOS* 104, 209-229.

Yamaguchi, D.K. (1991) A simple method for cross dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research* 21, 414–446.

Zar, H.J. (1999) *Biostatistical Analysis*. Fourth Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey 07458. 663 pp.

Capítulo V: Discusión General

El árbol levantó su corteza y salió caminando
CG

5.1 Discusión General

Estudiar la dinámica de los bosques resulta importante para entender los mecanismos de funcionamiento de los ecosistemas forestales en una perspectiva temporal de largo plazo. Esta información puede ser utilizada para implementar pautas en el manejo sostenible de los bosques, con el fin de preservar los servicios ecosistémicos que brindan, así como promover a su conservación. Los disturbios son un elemento fundamental de la dinámica forestal que regula la estructura y composición de los bosques de *Nothofagus* en toda su extensión en América de Sur. Este trabajo en particular, representa el primer estudio sobre los efectos que han tenido en los bosques de *Nothofagus*, las inundaciones periódicas, acontecidas durante el siglo XX y comienzos del XXI en relación a las fluctuaciones del Glaciar Perito Moreno. El mismo se enmarca en el contexto de la teoría de disturbios, la que ha sido empleada para entender la dinámica de los bosques de *Nothofagus* en América del Sur y el Hemisferio Sur (Veblen, Hill y Read 1996).

Para lograr los objetivos propuestos en esta tesis fue necesario reunir información que no sólo abordara los aspectos ecológicos del bosque sino también sobre sus interacciones con la ocupación humana. De esta manera se utilizó una combinación de fuentes documentales históricas (Capítulo 2) y de registros ambientales como son los anillos de crecimiento de los árboles (Capítulo 3 y 4).

En el capítulo 2 se compiló toda la información histórica disponible sobre las fluctuaciones del Glaciar Perito Moreno, muchas de las cuales fueron causantes de inundaciones que sepultaron extensas áreas de bosques a lo largo de las costas de los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino. No existe a la fecha un documento que trate en forma exhaustiva sobre la historia del glaciar más emblemático, popular y mundialmente conocido de la Patagonia. En el capítulo 3, por medio de métodos dendrocronológicos se pudo cotejar la historia documentada con la resultante de los anillos de árboles en relación a las fluctuaciones del glaciar, como así también

ubicar en un contexto temporal de largo plazo la ocurrencia de endicamientos causantes de la muerte de cientos de árboles en las costas de los Brazos Sur y Rico del Lago Argentino. Por otro lado, en el capítulo 4, se analizó la dinámica de establecimiento y mortalidad en respuesta a las inundaciones relacionadas con los endicamientos más recientes, comprendidos entre el año 1988 y el presente. De este modo el reclutamiento de nuevos individuos arbóreos sucedió luego de la liberación del espacio creado por las inundaciones, proceso que interaccionó con las variaciones en el clima regional y la carga ganadera existente a lo largo de la zona de estudio.

En el presente capítulo se integran los resultados obtenidos en los capítulos precedentes en una discusión común con el objetivo de responder a los interrogantes planteados en el primer capítulo de esta tesis. Esta síntesis también intenta buscar líneas futuras de estudio en los campos de la ecología y la conservación de los bosques en la Patagonia.

5.2 Resultados integrados y contrastación de hipótesis

Al plantear las primeras hipótesis de este trabajo de tesis se tuvo en cuenta la necesidad de realizar un enfoque desde dos disciplinas, que en este caso fueron complementarias: 1) la historia ambiental basada en documentos escritos e impresos en diversos medios gráficos relatada desde una perspectiva humana, y 2) la historia ambiental encerrada en los registros naturales como son los anillos de crecimiento de los árboles.

Utilizando ambos enfoques exploratorios fue posible contrastar la primer hipótesis que planteaba lo siguiente: “En base a la documentación histórica disponible para los últimos dos siglos, la primer ruptura del Glaciar Perito Moreno generada por un endicamiento de las aguas ocurrió en el año 1936. Asumimos entonces, que a partir de allí se produjo la muerte de árboles centenarios que se habían desarrollado en las costas del los Brazos Rico y Sur del Lago Argentino”. En función de los resultados obtenidos en el Capítulo 2, se pudo constatar, por medio del análisis de textos de principios del siglo XX en conjunto con fotografías antiguas y su comparación con tomas actuales, que el año 1936 fue el momento de inicio de los eventos recurrentes de inundación en la franja costera del cuerpo Sur

del Lago Argentino provocados por el Glaciar Perito Moreno. A partir de ese año, se produjeron 21 inundaciones con una periodicidad de 2-4 años entre 1936 a 1988, y de con la misma frecuencia entre 2004 a 2012, presentando un período de 16 años sin eventos entre 1988 a 2004. Cabe destacar aquí el valor que los documentos históricos aportan a una investigación de las ciencias naturales, donde se pone de manifiesto la importancia del empleo de los enfoques multidisciplinarios.

En el Capítulo 3, por medio de técnicas dendrocronológicas se pudo situar a estos eventos de inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno en un contexto temporal de largo plazo. El fechado dendrocronológico (fechas mínimas de establecimiento) de los árboles muertos *in situ* tanto de *N. pumilio* como de *N. betuloides*, reveló que las inundaciones, muy frecuentes durante el siglo XX, no ocurrieron por al menos 250 años antes del año 1936. Por otro lado, las fechas de muerte de los árboles se ubican en la primera mitad del siglo XX, correspondiendo con los eventos de inundaciones y rupturas del Glaciar Perito Moreno en los años 1936, 1953 y 1956. De acuerdo a lo expuesto se puede aceptar la hipótesis planteada y a la vez, con el cúmulo de evidencia de estos dos capítulos de la tesis, se pueden discutir los resultados obtenidos por Aniya y Skvarca (2012) quienes postularon que las inundaciones provocadas por el Glaciar Perito Moreno estuvieron asociadas a dos pulsos de avance del glaciar durante la Pequeña Edad de Hielo. Estos autores utilizaron técnicas de radiocarbono y establecieron fechas de muerte para los árboles en los años 1650-1710 y 1823-1848 AD. Del total de muestras, 11-13 provienen de árboles muertos por inundaciones y 9 muestras corresponden a material proveniente de la morena lateral del glaciar. Las fechas reportadas bien podrían estar relacionadas con los avances de la Pequeña Edad de Hielo en el caso de los árboles provenientes de la morena lateral del glaciar, pero no así, con aquellos provenientes de las planicies de inundación del Brazo Rico y Bahía Catalana. La discrepancia entre los resultados presentados por estos autores con los de este trabajo de doctorado, se deben a las incertidumbres y rango de error (50 a 100 años) que presentan las dataciones de Carbono 14 durante los últimos 500 años (Masiokas *et al.* 2010). Claramente, la resolución anual de las técnicas dendrocronológicas resulta ser sumamente valiosa para este tipo de reconstrucciones ambientales.

En una segunda hipótesis se planteó que: “Los eventos de inundación de mayores dimensiones ocurrieron en la década de 1950, hechos que produjeron incertidumbre en los pobladores que habitaban las costas al Sur del Glaciar Perito Moreno y provocaron la muerte de los árboles en las cotas más altas del lago, no alcanzada por inundaciones previas”. El incremento paulatino del nivel del agua en los años 1952, 1953 y 1954-1956, implicó que varios residentes de la Colonia Perito Moreno tuvieran que mudar sus viviendas y perdieran tierras de cultivo (Capítulo 2) (Entrevistas Tabla 2, Anexo). En este sentido es importante destacar el cambio en la percepción de la gente con respecto al inusual comportamiento del Glaciar Perito Moreno. Incertidumbre y una negativa aprehensión rondaba en los pensamientos de los pobladores rurales de las áreas cercanas al Glaciar Perito Moreno, hacia la primera mitad del siglo XX y entrados los años 1970. Por la misma época, promediando la década del 70, esta percepción comenzó a cambiar a positiva ante la instauración del turismo como actividad económica en la cercana localidad de El Calafate, hasta incluso, la creciente población urbana llegó a olvidar los efectos adversos de las inundaciones y construyeron edificaciones sobre la costa del Lago Argentino, asumiendo que las inundaciones eran eventos del pasado. Aprensiones negativas respecto del avance de algunos glaciares que devastaron estancias y tierras de cultivo durante la Pequeña Edad de Hielo en Noruega en el siglo XVIII fueron reportados por Nussbaumer, Nesje y Zumbühl (2011).

Por medio del fechado dendrocronológico (Capítulo 3) se pudieron constatar dos períodos de mortalidad de árboles, el correspondiente al primer evento de inundación, año 1936 y un segundo pico de mortalidad para los años 1953 y 1956, los cuales permanecen en la memoria de las personas entrevistadas. Si bien los fechados obtenidos de los árboles resultaron robustos en cuanto a la confiabilidad estadística, se debe tener en cuenta que la técnica presenta limitaciones, debido a que sólo el 60% de los árboles muestreados pudieron ser fechados. Relacionado con los eventos de inundación en la hipótesis tres del Capítulo 3 se planteaba lo siguiente: “Las inundaciones registradas entre 1936 y 1956, que alcanzaron cotas intermedias entre estos eventos, provocaron la muerte de distintas cohortes de árboles”. En el mismo Capítulo 3 quedó de manifiesto como a distintas alturas del nivel del agua se pudieron establecer diferentes fechas de mortalidad para los árboles muertos en pie (Figura 11).

Por otro lado, el análisis de los cambios en el ancho de los anillos de crecimiento de árboles sobrevivientes a las inundaciones, debe ser interpretado cuidadosamente. Las liberaciones y/o supresiones, en relación a las inundaciones, pueden variar en función del estado de los árboles afectados y la posición de la toma de las muestras en los árboles.

Por último, los resultados del Capítulo 4 permitieron corroborar la hipótesis que establecía lo siguiente: “El establecimiento de renovales en las costas del lago es posterior al endicamiento de 1988, donde el agua alcanzó una cota equivalente a 1956”. El análisis del establecimiento de renovales dejó de manifiesto la dinámica de reclutamiento post disturbio de las especies arbóreas existentes en el bosque aledaño. Ningún árbol muestreado en el año 2004 y con posterioridad se reclutó antes que el año 1988, indicando que las inundaciones, a diferencias de otros disturbios no dejan ejemplares vivos en el bosque. Lo que sucede es un reemplazo total del bosque, muy diferente a la dinámica evidenciada con posterioridad a incendios donde algunos árboles sobreviven, o en los casos de avalanchas, volteos por viento, u otro tipo de disturbio.

El reclutamiento de las especies arbóreas que colonizan a lo largo de las costas está controlado en gran medida por las condiciones climáticas, lo que denota una respuesta del disturbio a un gradiente ambiental, en este caso de precipitación. A la vez, es importante destacar que en ambientes donde se esperaría un establecimiento más favorable de renovales, por recibir mayor precipitación como sería la costa Sur del Brazo Rico y Brazo Sur, la alta presión ganadera retrasó la regeneración del bosque a través de la compactación del suelo, ramoneo y pisoteo de nuevos renovales. Por lo tanto, la dinámica de recuperación del bosque no sólo depende de la frecuencia de las inundaciones, sino también de las interacciones con el clima y otros tipos de disturbios presentes en la zona.

Por último, a nivel de rodal, a lo largo de las costas afectadas por las inundaciones, la regeneración del bosque tiende a mostrar patrones de agrupamiento, puesto de manifiesto por medio del análisis espacial de los renovales muestreados (Capítulo 4). Esto podría deberse a características particulares de micrositios tales como: protección a la dirección preponderante del viento, lugares que presentan mayor y mejor desarrollo de suelos versus sitios con roca expuesta, depresiones donde se pueden acumular mejor los propágulos, y otros factores.

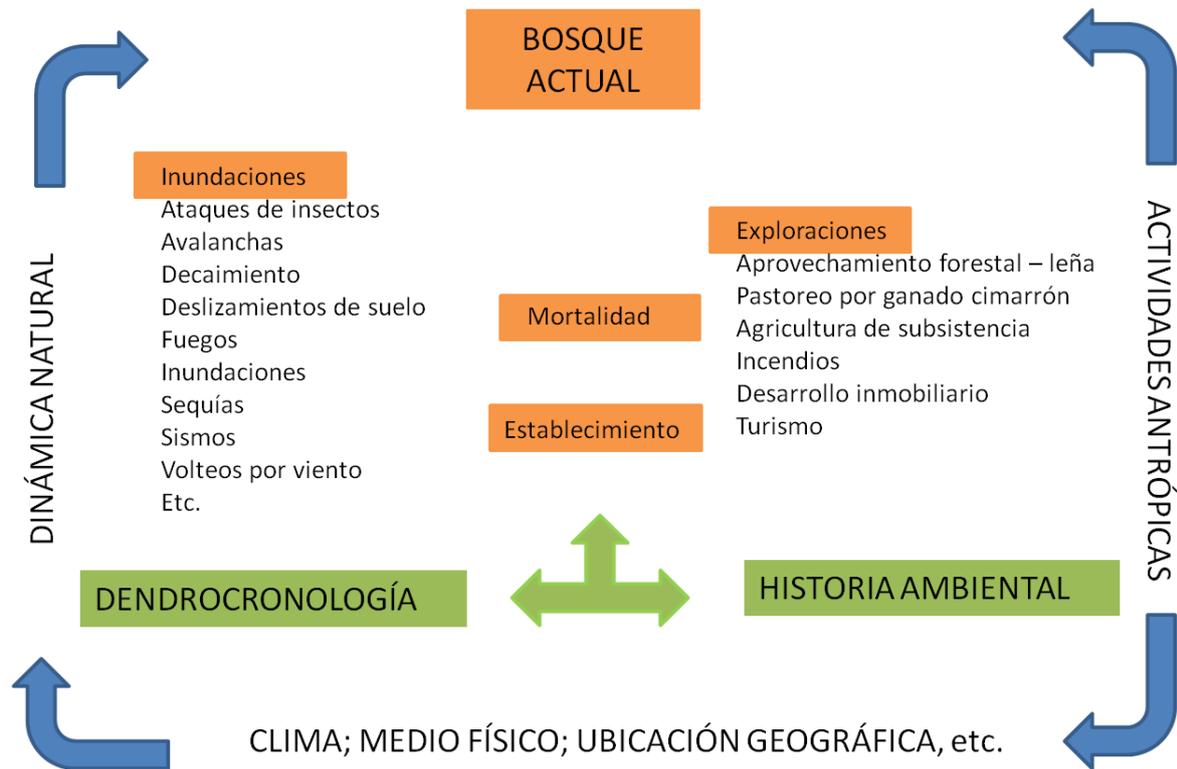


Figura 1. Diagrama que sintetiza la dinámica de interacciones existente en los bosques de *Nothofagus* del Sur de Patagonia. Las flechas azules indican flujos de interacciones, las flechas verdes señalan las metodologías y las variables utilizadas en este trabajo. Los recuadros naranjas resaltan los objetos de estudio.

5.3 Interrogantes pendientes para investigaciones futuras

En función de los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta tesis surgieron diversos interrogantes que sientan las bases para futuras investigaciones. El hecho de contar con una franja costera naturalmente expuesta a inundaciones periódicas, resulta interesante para estudiar los tiempos máximos bajo el agua que pueden resistir árboles adultos y renovales. Dada la diversidad de especies que colonizan las costas, entre ellas tres especies de *Nothofagus*, se podría evaluar la capacidad de resistencia a las inundaciones para cada especie en particular. Por otro lado se podrían analizar los efectos del agua sobre la actividad cambial y los tejidos de conducción de las plantas por medio de cortes histológicos, otros estudios

anatómicos y fisiológicos. Asimismo, la zona de costa expuesta por las sucesivas inundaciones resultaría un lugar ideal para evaluar la dispersión de semillas por medio de la utilización de trampas, como así también tasas de germinación y supervivencia de plántulas con el seguimiento de parcelas permanentes (Cousens, Wiegand y Taghizadeh 2008; Gorchov et al. 2013).

Al analizar el establecimiento de renovales en las costas afectadas por las inundaciones, quedó de manifiesto la fuerte interacción de este proceso con los efectos del ganado cimarrón presente en algunos sitios relevados, introduciendo diferencias significativas en el DAB, altura y cantidad de fustes, entre sitios con vacunos y sin ellos (Capítulo 4). Por ello, sería de especial interés evaluar el rol del pastoreo sobre el establecimiento de renovales arbóreos (Soler *et al.* 2013), así como dilucidar cuáles son los factores microambientales que determinan los agrupamientos de los renovales en las costas. Se recomienda para ello llevar adelante estudios detallados de largo plazo en parcelas permanentes (de la Cruz *et al.* 2008).

Por último, en cuanto a las cronologías de ancho de anillos desarrolladas para esta tesis de *N. pumilio* y *N. betuloides*, es importante destacar que las mismas poseen una señal común buena, que en términos estadísticos (r_{bar} y EPS) es buena solo para los últimos 200 años. Por ello sería conveniente extender las mismas hacia el pasado aumentando la cantidad de sitios y la replicación de muestras para así poder utilizarlas en otros estudios que requieran fechados de árboles o referencias de variaciones ambientales del pasado.

El aporte directo de esta tesis contribuye al conocimiento general sobre la dinámica de bosques. Los resultados presentados en este trabajo y los que provendrían de los estudios propuestos para un futuro, aportarían información valiosa para ser utilizada como herramientas de manejo y por ende de protección de los bosques, componente inseparable del paisaje típico de los Andes Patagónicos

5.4 Bibliografía

Aniya, M., Skvarca, P., 2012. Little Ice Age advances of Glaciar Perito Moreno, Hielo Patagónico Sur, South America. *Bulletin of Glaciological Research*, 30, 1–8.

Cousens, R. D., Wiegand, T., Taghizadeh, M. S., 2008. Small-scale spatial structure within patterns of seed dispersal. *Oecologia* 158, 437–448

de la Cruz, M. Romao, R.L., Escudero, A. Maestre, F.T. (2008) Where do seedlings go? A spatio-temporal analysis of seedling mortality in a semi-arid gypsophyte. *Ecography* 31: 720-730.

Gorchov, D. L., Rondon, X. L., Cornejo, F., Schaefer, R. L., Janosko, J. M., Slutz, G., 2013. Edge effects in recruitment of trees, and relationship to seed dispersal patterns, in cleared strips in the Peruvian Amazon. *Ecol. Res.* 28, 53–65

Nussbaumer, S., Nesje, A., Zumbühl, H. (2011) Historical glacier fluctuations of Jostedalsbreen and Folgefonna (southern Norway) reassessed by new pictorial and written evidence. *The Holocene* 21 (3), 455-471.

Masiokas, M.H., Luckman, B.H., Villalba, R., Ripalta, A. Rabassa, J. (2010) Little Ice Age fluctuations of Glaciar Río Manso in the north Patagonian Andes of Argentina. *Quaternary Research* 73, 96–106.

Soler, R., Martínez Pastur, G., Peri, P., Lencinas, M. V., Pulido, F., 2013. Are silvopastoral systems compatible with forest regeneration? An integrative approach in southern Patagonia. *Agroforest Syst* 87, 1213–1227

Veblen, T.T., Kitzberger, T., Villalba, R., 2005. Nuevos paradigmas en ecología y su influencia sobre el conocimiento de la dinámica de los bosques del sur de Argentina y Chile. *Ecología y Manejo de bosques de Argentina* (eds M.F. Arturi, J.L. Frangi & J.F. Goya).

Veblen, T.T., Hill, R.S., Read, J. (Eds.) (1996) *The Ecology and Biogeography of Nothofagus forest*. Yale University Press, New Haven and London, 403 pp.

ANEXO

Tabla 1. Archivos Consultados

	Archivo	Ciudad	Tipo de archivo
1	Biblioteca Nacional de la República Argentina	Buenos Aires	Biblioteca General, colección fotográfica y mapoteca
2	Biblioteca de Parques Nacionales "Perito Francisco P. Moreno"	Buenos Aires	Biblioteca General
3	Biblioteca del Instituto del Hielo Continental Patagónico	Buenos Aires	Biblioteca General
4	CCT – Conicet - Mendoza	Mendoza	Biblioteca General y colección fotográfica
5	Arturo Corte – IANIGLA - CCT – Conicet - Mendoza	Mendoza	Biblioteca General
6	Centro Cultural "Biblioteca Hilarión Lenzi"	Río Gallegos	Hemeroteca
7	Archivo Histórico Municipal	El Calafate	Colección fotográfica
8	Biblioteca "Perito Moreno" de la Intendencia de Parques Nacionales	El Calafate	Biblioteca General
9	Seccional del glaciar Perito Moreno parque nacional Los Glaciares	Glaciar Perito Moreno	Libros de guardias y radiotelefonogramas

Tabla 2. Entrevistas a pobladores de la zona rural del Lago Argentino

N°	Nombre	Edad	Lugar de Nacimiento	Residencia (años) en Santa Cruz	Ocupación	Fecha entrevista
1	Echeverría Horacio	86	Estancia 9 de Julio, Lago Argentino	86	Dueño hospedaje	11/07/2002
2	Torres Carmen	46	Mar del Plata	14	Administrativa Parques Nacionales	17/07/2002
3	Schöeder Karin	43	Río Gallegos	43	Propietaria Estancia Cerro Moreno	21/07/2002
4	Echeverría Jorge (+)	90	Río Gallegos	90	Juez de Paz jubilado	29/07/2002
5	Gutiérrez Olivia	82	Charles Fhur, río Santa Cruz	82	Ama de casa	29/07/2002
6	Scepanovic Albina Verlika de (+)	88	Punta Arenas (Chile)	74	Ama de casa	30/07/2002
7	Echeverría Horacio (hijo)	51	El Calafate (hotel Pantín)	51	Propietario Estancia 9 de Julio. Museo	09/09/2002
8	Jannes Marcelo	42	Buenos Aires	21	Guía de turismo. Ex guardaparque	10/03/2003
9	Mansilla Luis	45	El Calafate	45	Capitán de barcos	18/04/2003
10	Gatti Oscar	81	Buenos Aires	67	Comerciante jubilado	21/06/2003
11	Schupbach Roberto (Chacho)	61	Puerto San Julián	61	Comerciante	10/04/2004
12	Bugnest Fabián	39	Río Negro	4	Guardaparque	01/07/2006
13	Bellini Oscar	59	Buenos Aires	39	Médico jubilado/Ex guardaparque	06/04/2012
14	Echeverría Baleta Mario	74	Estancia 25 de Mayo. El Calafate	74	Escritor	12/10/2012

15	Pantín de Peña Julia (+)	96	El Calafate	96	Ama de casa. Comerciante jubilada	01/11/2012
16	Peña de Villalba María Isabel	81	Buenos Aires	58	Ama de casa. Administrativa Parques Nacionales. Vialidad Provincial (jubilada)	25/11/2012
17	Guaimas Agustín	68	Salta	Meses de 1974 en Glaciar Moreno	Guardaparque	29/11/2012
18	Martín Martina	69	Estancia 9 de Julio. Lago Argentino	69	Vialidad provincial Jubilada	05/12/2012
19	Ojeda Pedro	86	Río Guanaco, entre lago Viedma	86	Retirado comerciante	06/01/2013
20	Mancilla Edmundo Nuno	74	Hotel río Mitre, brazo Rico, lago Argentino	74	Jubilado	08/01/2013

Modelo de Entrevistas

ENTREVISTA

Entrevista número:

Fecha:

Nombre:

Edad:

Ocupación:

Tiempo de residencia en la provincia de Santa Cruz:

Lugar de origen:

Domicilio actual:

I) Cuestionario

¿Presenció alguna ruptura del glaciar Perito Moreno? SI NO

Año de inicio del embalse Año de Ruptura

....

....

....

¿Sabe de otras rupturas del glaciar Moreno que usted no haya presenciado? SI NO

Año de inicio del embalse

Año de Ruptura

....

....

....

....

....

....

¿Cómo tomó conocimiento de estas rupturas? Medios de comunicación, alguien le contó ¿quién?

¿Sabe cuál fue la altura máxima alcanzada por el Brazo Rico y Sur del Lago Argentino? SI NO

Año

Metros

Año

Metros

Año

Metros

Año

Metros

¿Posee fotos o datos que permitan apreciar el nivel del Brazo Rico y Sur en momento de endicamiento?

SI NO

¿Sabe en qué años bombardearon la pared de hielo? SI NO

.....

¿Tiene fotos de más de 10 – 15 años de cualquier glaciar de esta región? SI NO

¿Tiene libros y/o filmaciones que describan o tengan fotos de glaciares de esta región? SI NO

II) Comentarios que surgen de la conversación.

Cuando usted vivía en la chacra y/o seccional ¿cómo era la vida?, ¿cultivaban la tierra, tenían animales?, ¿iban a El Calafate a vender sus productos o comprar cosas?, ¿qué usaban como combustible?

¿Los niños iban a la escuela, dónde?

¿Alguna vez iban a ver el Glaciar?, ¿llegaba gente como los turistas de ahora?, ¿cómo llegaron ustedes a tener la chacra?, ¿por qué la vendieron?

¿El camino de acceso era de tierra, tenía puentes, etc.?

ANEXO

Tabla 3. Rupturas y Nivel del agua

AÑO	MES	DIA	HORA	RUPTUR A	NIVEL AGUA (m)	FUENTE
1917				?		Feruglio 1944; De Agostini 1945; Heim 1951; Raffo et. al 1953
1936	¿Ene-Feb- Mar?			si		Feruglio 1944; Heim 1951; Raffo et al. 1953
1940	Feb	(15) 17		si	4.61/9/10.5	Feruglio 1944; De Agostini 1945; Nichols & Miller 1952; Raffo et al. 1953; Echeverría J. Interview 1
1942	Mar	19-21		si	6.02/7.42/13.44/1 4.9/17	Heim 1951; Nichols & Miller 1952; Raffo et al. 1953; Echeverría J. Interview 1
1947	Dic	21		si	2.61/8	Raffo et al. 1953; Bertone 1972
1949	Mar	3 - 4		si	30	Nichols & Miller 1952; Raffo et al. 1953; Bertone 1972; Echeverría J. Interview 1
1952	Mar	2 - 3	14:10	si	11.3/12.7	Raffo et al. 1953; Heisheimer 1959
1953	Mar	30-31		si	11/12.85/14.4	Raffo et al. 1953; Heisheimer 1954, 1959
1956	Mar	14		si	23/25.6/26/28	Heisheimer 1959; Mercer 1967; Depetris & Pasquini 2000
1960	Feb	15		si	13.1	Liss 1970
	Mar	31				Liss 1970; Skvarca 2002
1963	Feb	25		si	15.7	Liss 1970
	Mar					Mercer 1967; Skvarca 2002
1966	Feb	10		si	27/28.4	Mercer 1968; Liss 1970; Skvarca 2002
1972	Mar			si	28/38	Bertone 1972; Dimitri 1972; Depetris & Pasquini 2000; Skvarca 2002
1974	Abr	12		si		Depetris & Pasquini 2000; Bellini Interview 13
1978	Feb			si		Jannes Interview 8
1980	Feb	17-18	15:10	si		Skvarca 2002; Jannes, Mansilla, Bugnest Interview 8, 9, 12
1984	Ene	13		si	27	Skvarca 2002; Jannes, Mansilla, Schupbach, Bugnest Interview 8, 9, 11, 12
1988	Feb	16-17	16:30	si	19/27/21.6	Skvarca 2002; Jannes, Mansilla, Schupbach, Bugnest Interview 8, 9, 11, 12
2004	Mar	11-14	19:10	si	9.35	Pasquini & Depetris 2011; Chini 2004; Skvarca & Naruse 2005; Bugnest, Svetaz Interview 12, 23
2006	Mar	9-13	22:55	si		Pasquini & Depetris 2011; Chini 2004; Skvarca & Naruse 2005; Bugnest, Interview 12
2008	Jul	9		si	7.9	Pasquini & Depetris 2011; Chini 2004; Skvarca & Naruse 2005; Bugnest, Interview 12, APN
2012	Mar	1-3		si	5.93	Mañarey, Tur Interview 21, 22; Administración de Parques Nacionales

Primeras imágenes del Glaciar Perito Moreno previas a los eventos de ruptura



1899 (Hauthal 1904)



1900 (Prichard 1902)



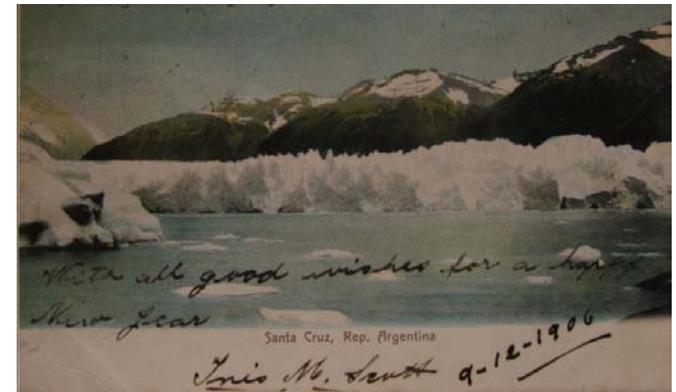
1901 (Gallois 1901)



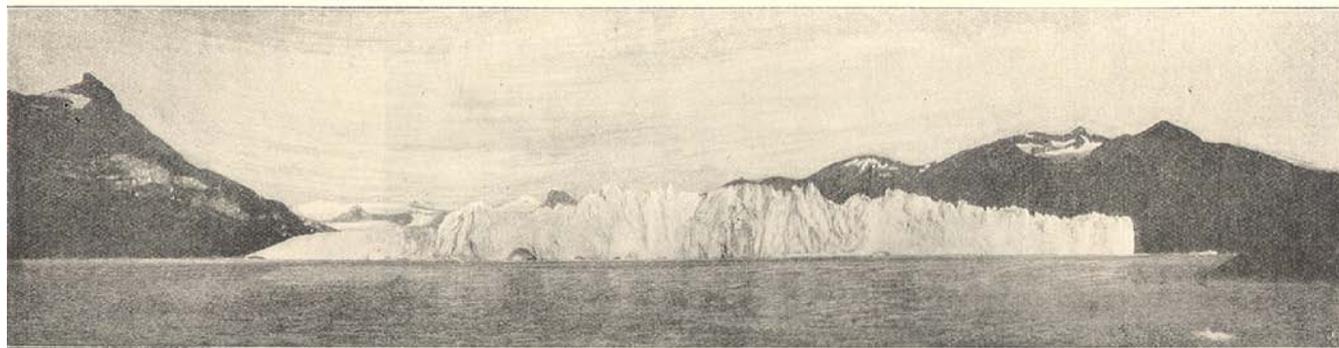
1900 (Prichard 1902)



1908 Quensel / Skottsberg 1911)



1906 Postcard



1901 (Frontera Argentino – Chilena 1902)

Primeras imágenes del Glaciar Perito Moreno previas a los eventos de ruptura



1914 (Hicken 1915)



1914 (Hicken 1915)



1914 (Kölliker et al. 1917)



1914 (Kölliker et al. 1917)



1928 (De Agostini 1945)



1928 – 1930 (Kholmann)

Glaciar Perito Moreno post primer ruptura, 1936



1936 (De Agostini 1937)



1936 – 1937 Familia Stipicic

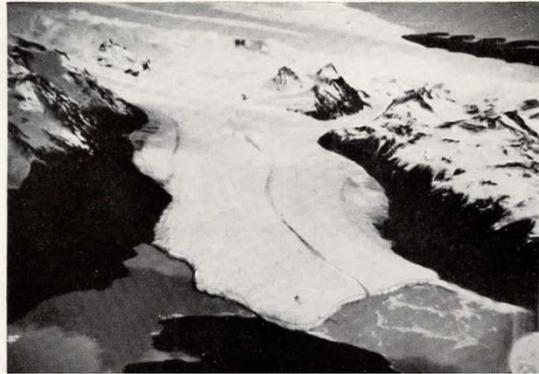


1937 (Feruglio 1944)



1937 (Feruglio 1944)

Glaciar Perito Moreno previamente a segunda ruptura febrero 1940



1939 (Heinsheimer 1954)



1939 (De Agostini 1945)

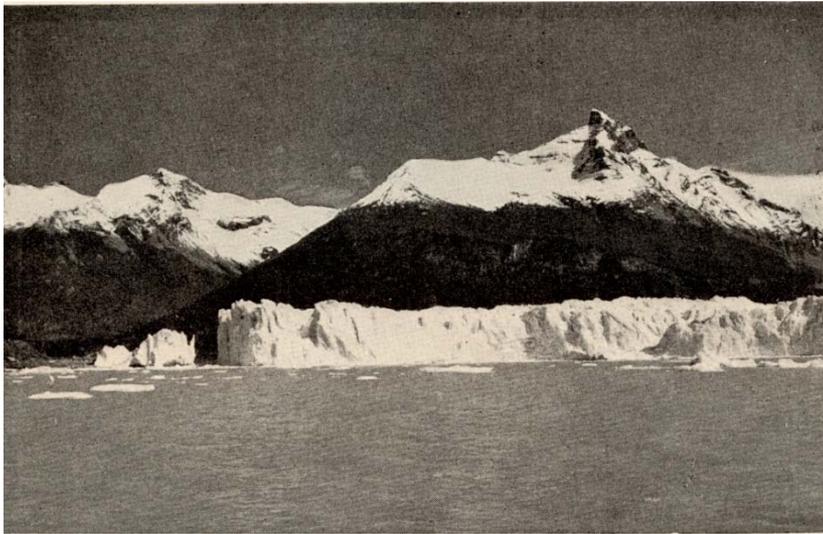


1939 (Volpi 1940)

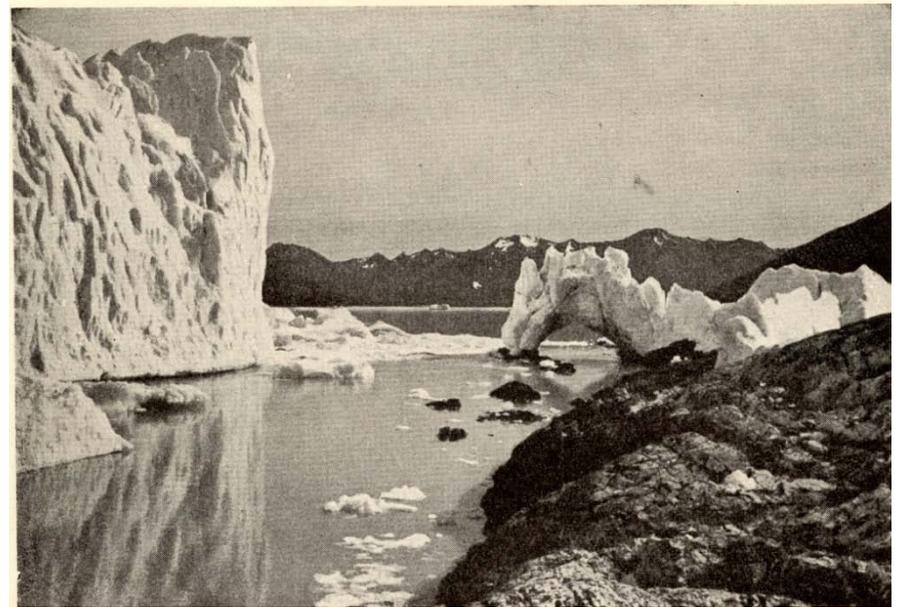
Glaciar Perito Moreno post tercer ruptura, marzo 1942



1943 (De Agostini 1945)



1946 (Heim 1951)



1946 (Heim 1951)

Glaciar Perito Moreno cuarta ruptura, noviembre 1947

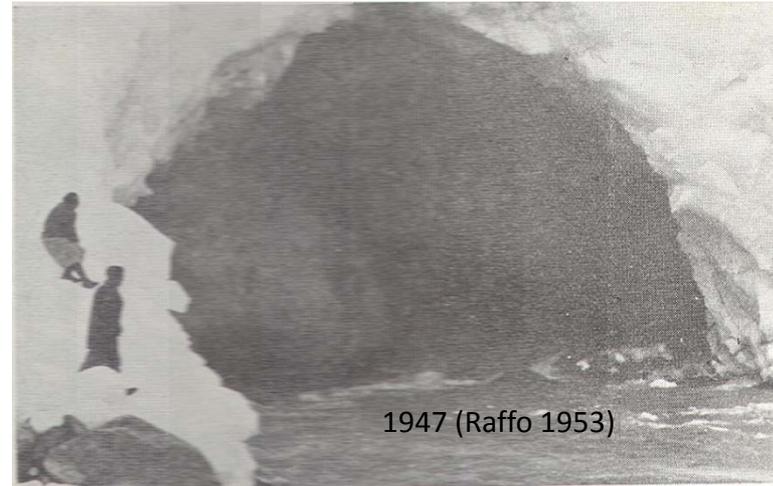
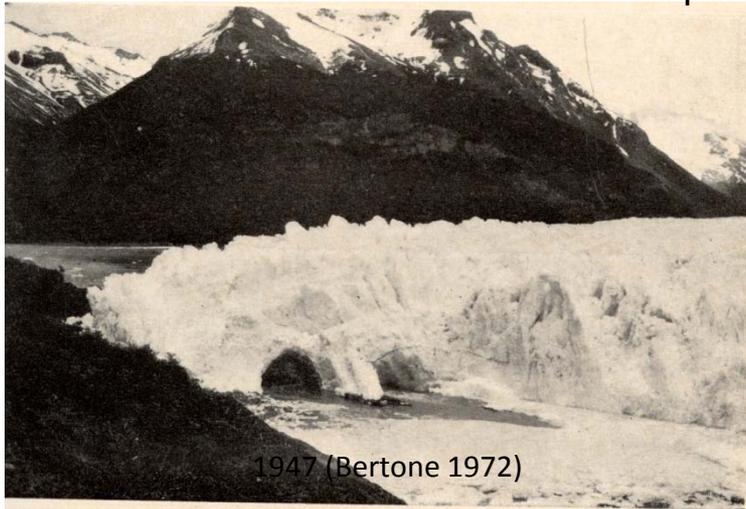


FIG. 11. — Salida del nivel subglaciar. Vista tomada desde el Canal de los Témpanos. Noviembre 21 de 1947.

Post sexta ruptura marzo 1952



1952 Raffo 1953

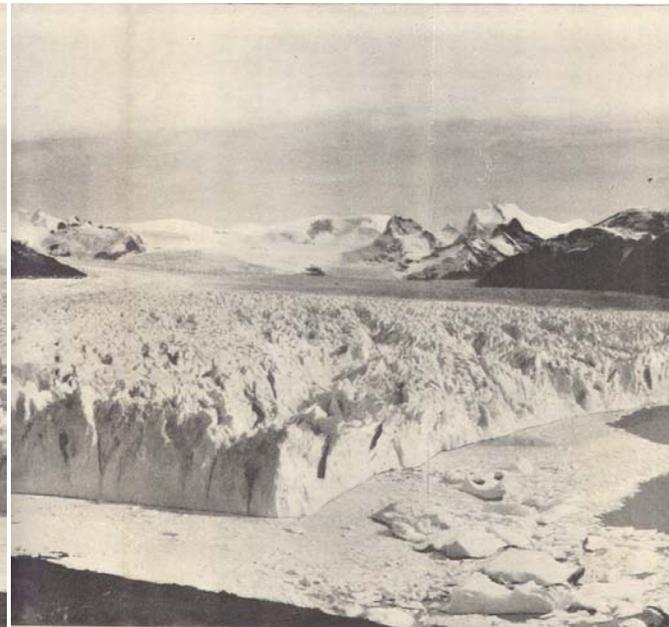
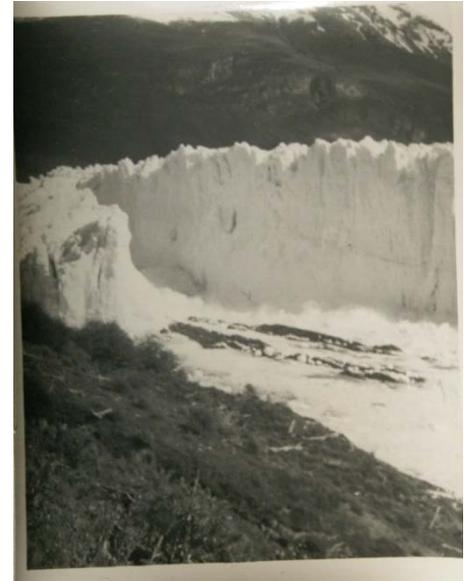
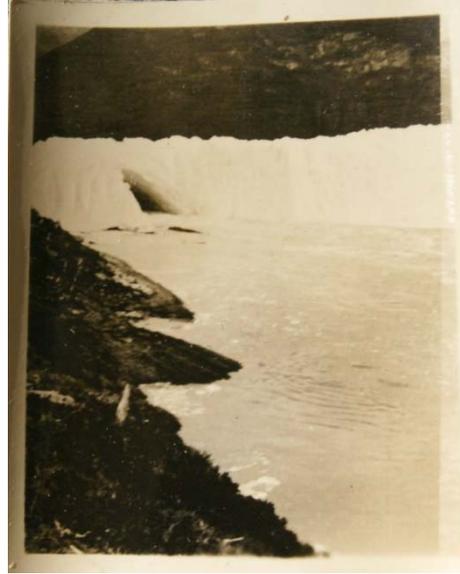


FIG. 1. — Vista penetrada del Glaciar Moreno.

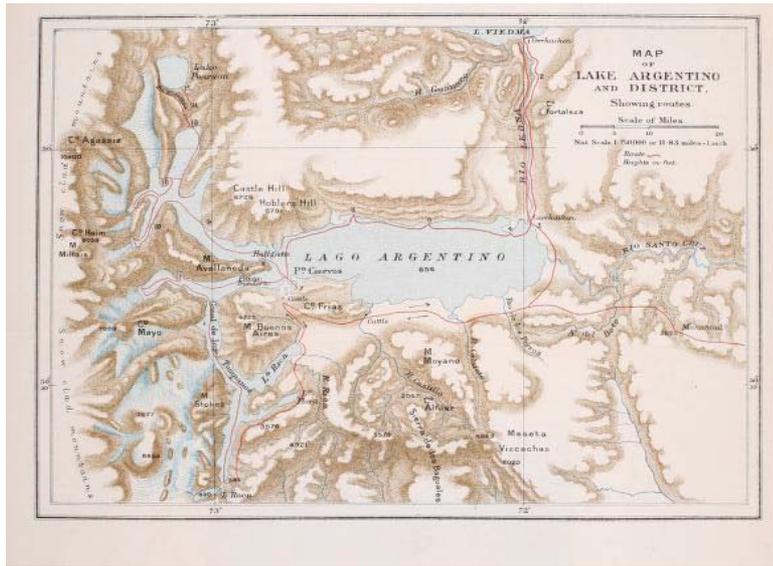


Glaciar Perito Moreno séptima ruptura, marzo 1953

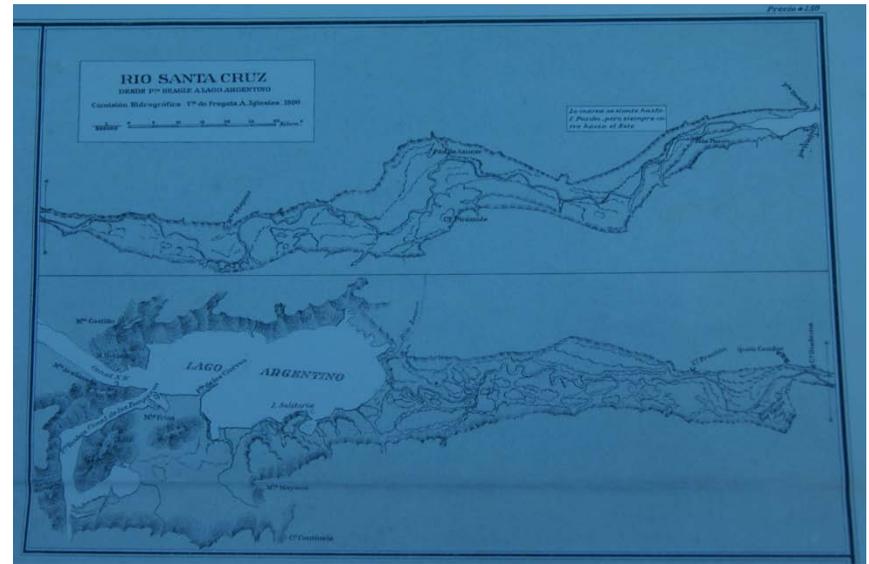


1953 Heinsheimer

Primeros mapas de la zona del Lago Argentino



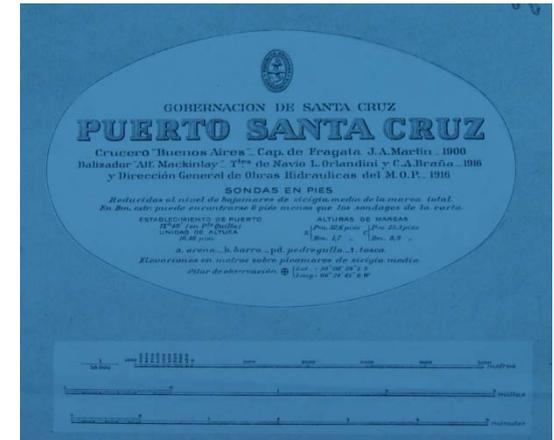
Prichard 1900 Pag. 188



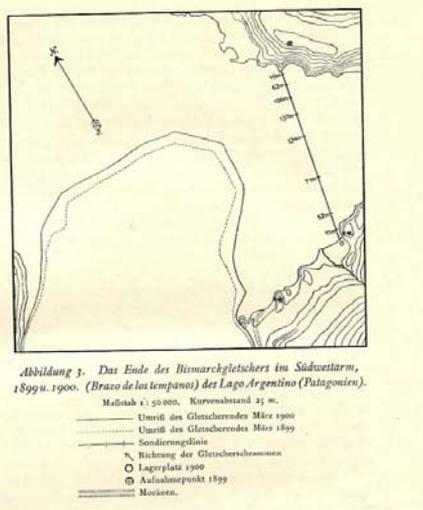
Iglesias 1900



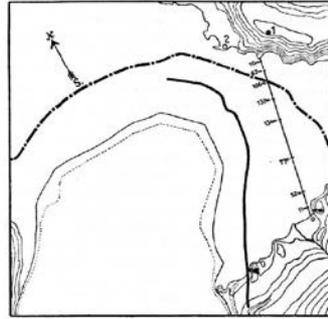
Gallois 1901



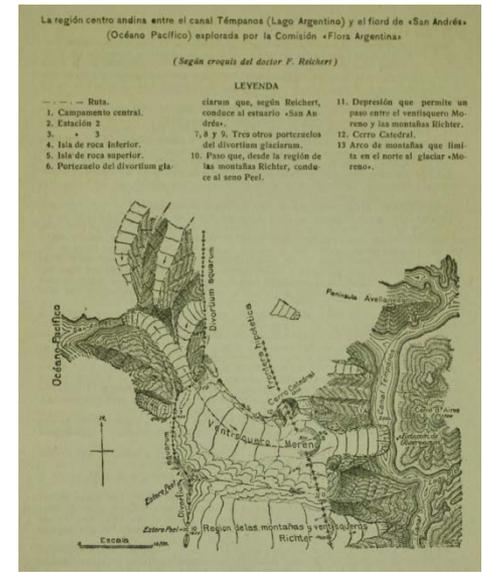
Primeros gráficos del frente del Glaciar Perito Moreno



Hauthal 1904 Pag. 35

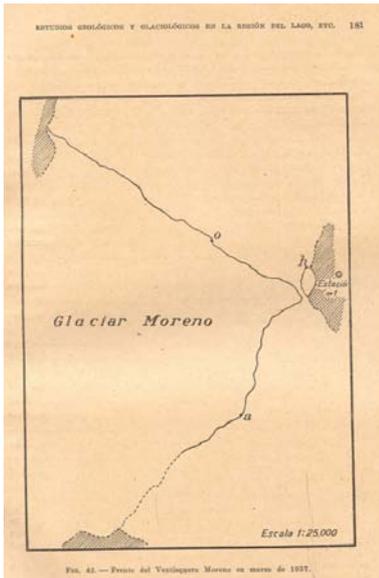


Reichert 1917 Pag. 5



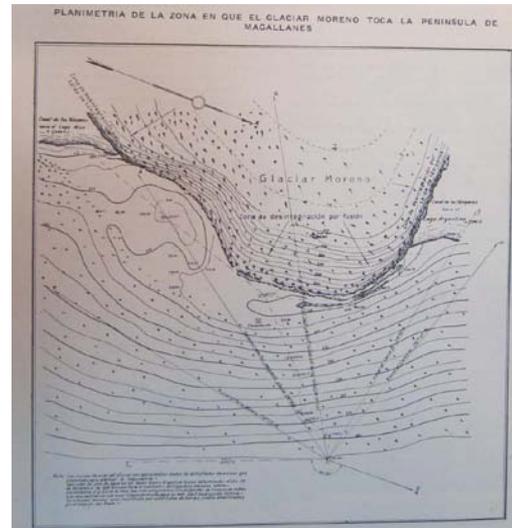
Kolliker et al. 1917 Pag. 156

Frente del Glaciar en marzo 1937

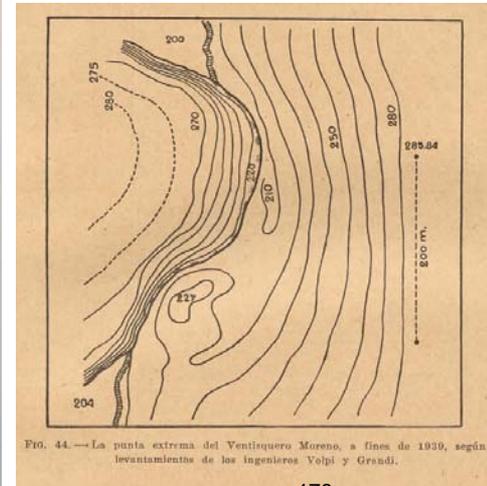


Feruglio 1944 Pag. 185

Frente del Glaciar a fines de 1939



Volpi y Grandi 1940 Pag. 57



Feruglio 1944 Pag. 181

Brazo Rico y Lago Roca 1947

CARTA TOPOGRÁFICA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

Hoja 5172-8Y14

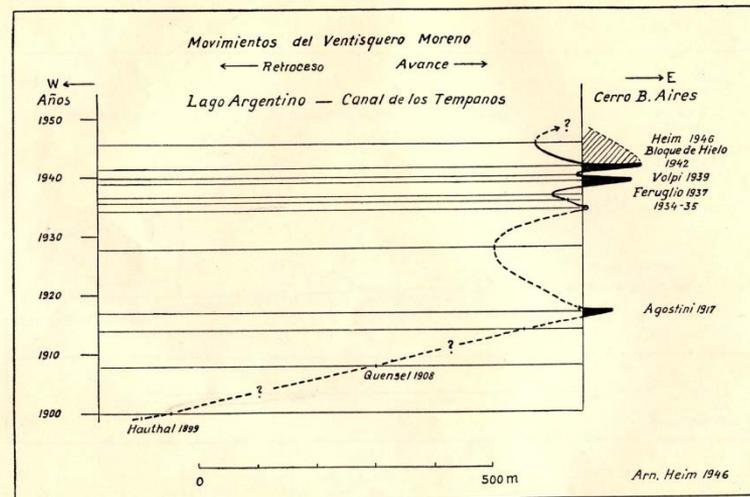
LAGO ROCA

SANTA CRUZ

LEVANTADA EN EL AÑO 1947



Posición del frente del Glaciar desde 1899 hasta marzo 1946



Lamina XI

Frente del Glaciar post 5° ruptura en marzo 1949

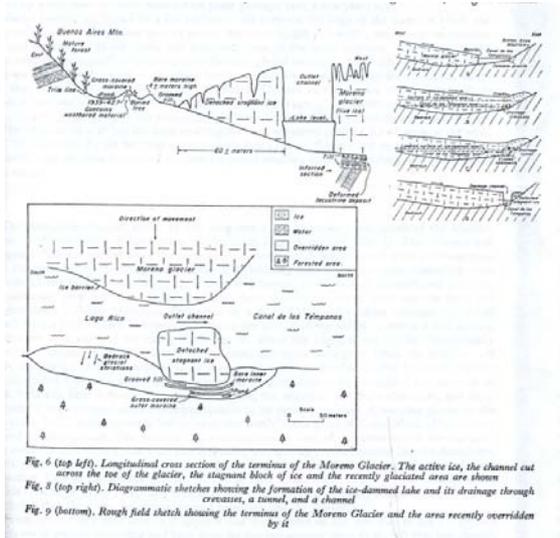
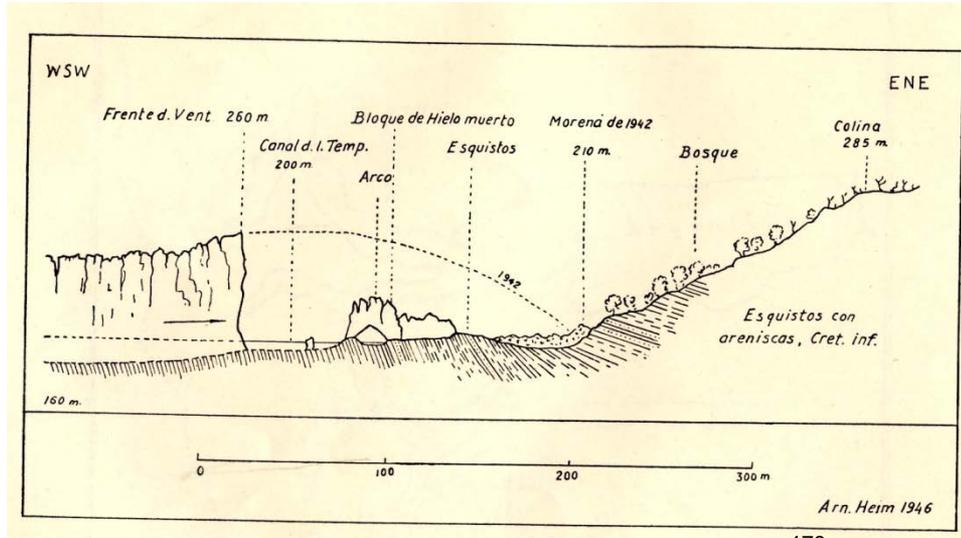


Fig. 6 (top left). Longitudinal cross section of the terminus of the Moreno Glacier. The active ice, the channel cut across the toe of the glacier, the stagnant block of ice and the recently glaciated area are shown
 Fig. 8 (top right). Diagrammatic sketches showing the formation of the ice-dammed lake and its drainage through crevasses, a tunnel, and a channel
 Fig. 9 (bottom). Rough field sketch showing the terminus of the Moreno Glacier and the area recently overridden by it

Nichols y Miller 1952 Pag. 25

Frente del Glaciar post 3° ruptura en marzo 1946

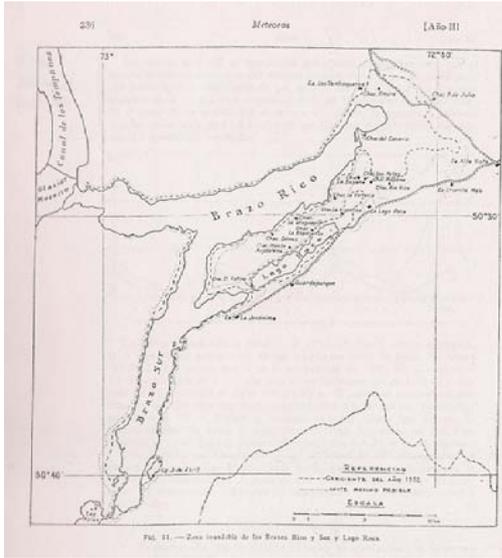


179

Lamina XII

Heim 1951 Pag. 21, 22

Brazo Rico, Sur y Lago Roca 1952



Raffo et al. 1953 Pag. 336

Frente del Glaciar en febrero - marzo 1966

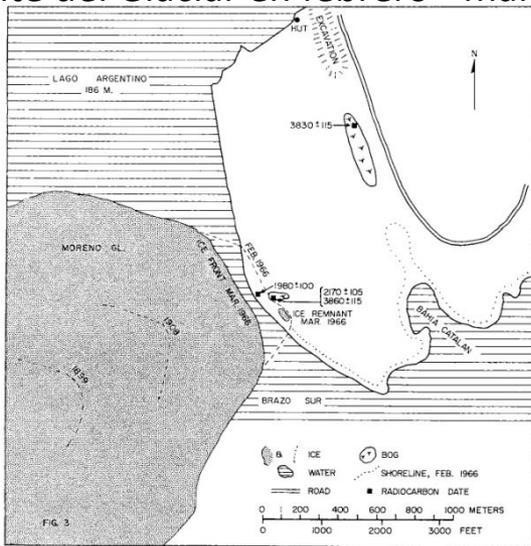
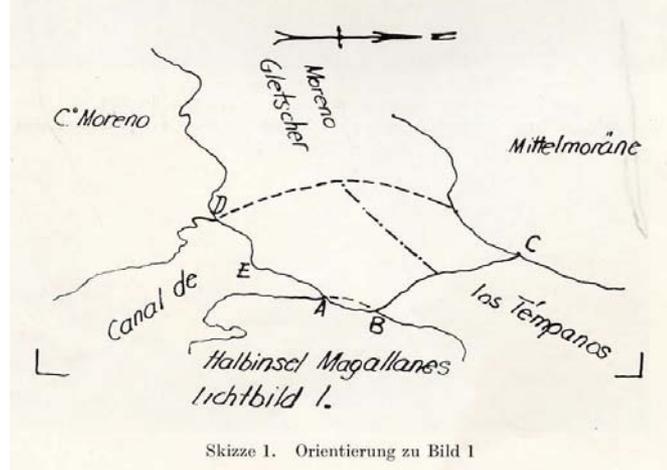


Fig. 3. Moreno Glacier terminus and vicinity.

Mercer 1968 Pag. 06

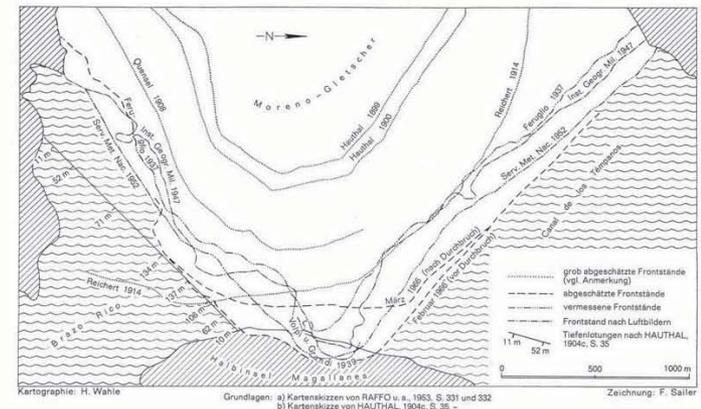
Frente del Glaciar en 1939

Bild 1. Fliiegeraufnahme der Zunge des Morenogletschers aus dem Jahre 1939. Die Mittelmoräne kennzeichnet die rechte Dreieckseite im See als Gletscherfront, die linke als rechte Flanke, die auf die Halbinsel Magallanes hinaufgeschobene Eismasse als rechte Schulter des Gletschers



Heinsheimer 1954 Pag. 39

Frente del Glaciar desde 1899 hasta 1966



Anmerkung: Die Skizze von HAUTHAL läßt sich nur willkürlich in die relativ genau vermessene Skizze von RAFFO u. a. anfügen, da 1. die Skizze von HAUTHAL mit einer offensichtlich falschen Maßstabangabe veröffentlicht wurde, 2. die topographischen Verhältnisse nur grobzügig und nicht maßstabgerecht aufgenommen wurden und 3. die Nordrichtung sehr ungenau in die Skizze eingetragen wurde. - Vgl. dazu auch RAFFO u. a., 1953, S. 304.

Abb.10: Stände der Gletscherfront des Moreno-Gletschers 1899-1966