

Universidad Nacional de Cuyo
Facultad de Ciencias Agrarias



Análisis dendrocronológico de los patrones de crecimiento de lenga [*Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser] y guindo [*N. betuloides* (Mirb.) Oerst.] y sus relaciones con el clima en el Lago del Desierto, Patagonia, Argentina.

Tesina para optar al título de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

Tesista: Paula Lucía Castellano

Director: Ana Marina Srur

Codirector: Lucas Bianchi

IANIGLA - CONICET - Centro Científico Tecnológico Mendoza

Julio de 2017

Resumen

El objetivo general de esta tesis es analizar los patrones de crecimiento de bosques de *Nothofagus pumilio* y *N. betuloides* en las proximidades del Lago del Desierto, Patagonia argentina (49°01'S - 72°52'O) y su utilidad para reconstruir las variaciones en la temperatura, la precipitación y la Oscilación Antártica (AAO). Se procesaron y analizaron un total de 54 muestras de *N. pumilio* y 48 de *N. betuloides* a partir de las cuales se desarrollaron dos cronologías de ancho de anillos que cubren los periodos de 1754-2014 y 1650-2014, respectivamente. De esta manera, se generaron las primeras cronologías de *N. pumilio* y *N. betuloides* en el Lago del Desierto. Los resultados logrados con *N. betuloides* son especialmente importantes debido a los escasos trabajos existentes sobre esta especie. El patrón de crecimiento resultó similar en ambas especies. Se observaron correlaciones significativas entre el crecimiento de *N. pumilio* y la temperatura de agosto a octubre del año previo a la estación de crecimiento y el índice de la AAO de diciembre a enero del año corriente. Sin embargo, estas correlaciones no resultaron estables en el tiempo. También se encontraron correlaciones significativas entre *N. betuloides* y la precipitación de diciembre a enero del año previo, pero el periodo de datos disponible fue demasiado corto (23 años) para validar la significancia estadística de la relación. Estos resultados alientan a ampliar el presente trabajo con estudios similares en la zona que permitan concretar el desarrollo de reconstrucciones climáticas en el área del Lago del Desierto. Además, evidencian la necesidad de instalar estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio para continuar con éstos y otros estudios científicos relacionados al clima y su relación con la vegetación.

Palabras clave: dendroclimatología, anillos de crecimiento, *Nothofagus ssp.*, temperatura, precipitación, Oscilación Antártica.

Abstract

The general objective of this undergraduate thesis is to analyze the growth patterns of *Nothofagus pumilio* and *N. betuloides* in the proximity of Lago del Desierto, Argentine Patagonia (49°01'S - 72°52'O) and its use in the reconstruction of variations in temperature, precipitation, and Antarctic Oscillation (AAO). A total of 54 samples of *N. pumilio* and 48 of *N. betuloides* were processed and analyzed, from which two ring width chronologies were developed, covering the periods of 1754-2014 and 1650-2014, respectively. In this way, the first chronologies of *N. pumilio* and *N. betuloides* were developed for the Lago del Desierto. The results of *N. betuloides* are especially important due to the scarcity of works that exist on this species. Tree-ring growth patterns were similar between both species. Significant correlations were observed between *N. pumilio* tree-ring growth and temperature from August to October of the previous year of the growing season and with AAO index from December to January of the current year. However, these correlations were not stable over time. Significant correlations were also found between *N. betuloides* and precipitation from December to January of the previous year although the period of comparison was too short (23 years) to validate the statistical significance of the relationship. These results encourage to continue expanding the present work with similar studies in the area that will allow the development of climatic reconstructions in the proximities of Lago del Desierto. In addition, our results demonstrate the need to install meteorological stations near the study area to continue with these and other scientific studies related to climate and its relationship with vegetation.

Keywords: dendroclimatology, tree-rings, *Nothofagus ssp.*, temperature, precipitation, Antarctic Oscillation.

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a mi directora, Ana Srur, y codirector, Lucas Bianchi, porque me brindaron más apoyo del que podría haber pedido. Fue un placer trabajar con personas tan dedicadas en su trabajo y, además, de tan gran calidad humana.

A mi familia por acompañarme en todos estos años de la carrera y apoyarme en todo el camino. Por estar, cerca o a la distancia, siempre presentes.

A mi amigos de toda la vida, porque siguieron siempre a mi lado. Por los momentos juntos que compartimos, que me permitieron tomar un respiro. Por sus palabras de aliento, que me permitieron seguir adelante.

A los nuevos amigos que me dio la Facultad. Por darme alivio y saber que las muchas horas de estudio eran compartidas. Por hacer que los largos días de cursado, acompañados de unos mates, fueran siempre un placer. Por todos los recuerdos increíbles que me dejan.

A los evaluadores y al equipo de Dendro por su increíble buena onda todo el tiempo.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y a los grandes docentes que tiene. Por todo lo que me enseñaron durante estos años. Es un privilegio haber podido recibir tan excelente educación.

¡Sinceramente gracias a todos!

Índice	
Introducción	1
Hipótesis	8
Predicciones	8
Objetivos.....	9
Objetivo general	9
Objetivos particulares	9
Metodología	9
Área de estudio	9
Materiales.....	12
<i>Nothofagus pumilio</i> “lenga”	12
<i>Nothofagus betuloides</i> “guindo”	13
Datos climáticos.....	14
Trabajo de laboratorio	17
Análisis estadísticos	18
Resultados.....	21
Cronologías de ancho de anillos estándar.....	21
Datos climáticos	22
Relación clima-crecimiento.....	24
Discusión	27
Conclusiones	35
Bibliografía.....	37
Anexo	41
Temperatura.....	41
Precipitación.....	44

Introducción

La dendrocronología (del griego *dendros*, árbol y *cronos*, tiempo) se define como el conjunto de métodos que tienen como objetivo la identificación de los anillos de crecimiento anual de los árboles y la asignación de cada uno de ellos, en forma precisa e inequívoca, a un año calendario (Fritts 1976). El estudio de los anillos de crecimiento data del siglo XIX. Su desarrollo, desde inicios del siglo XX, se le atribuye al astrónomo norteamericano A. E. Douglass. Según el uso y la aplicación de la serie de anillos, la dendrocronología reconoce diferentes subdisciplinas. Entre ellas se encuentran la dendroarqueología, la dendroclimatología, la dendroecología y la dendrogeomorfología (Fritts 1976). Los estudios dendroclimáticos se caracterizan por analizar las series de ancho de anillos, de tal manera de separar la señal climática del "ruido" introducido por efectos de la edad de los árboles y de la posible ocurrencia de disturbios. En cambio, en los estudios dendroecológicos, por ejemplo, se intenta resaltar la señal del disturbio y reducir la variación debido al clima (Fritts 1976).

Se considera que el clima es el principal factor ambiental que influye sobre el crecimiento de los árboles de una determinada región. Por lo tanto, se espera que el patrón de variaciones interanuales en los anillos de crecimiento de los individuos de un mismo rodal no disturbado, sea similar entre ellos (Fritts 1976). En este patrón de crecimiento pueden influir tanto las condiciones ambientales que ocurren durante la estación de crecimiento corriente, como aquellas de la temporada anterior (Fritts 1971). Además, existen otros factores que pueden afectar la relación entre el crecimiento y el ambiente, entre ellos se encuentran la tendencia del crecimiento de los árboles a disminuir con la edad y las variaciones producidas por los disturbios (Fritts 1971; Kitzberger, Veblen, y Villalba 2000). Se conoce que existen diferencias en el crecimiento y en las respuestas al clima según el tiempo de permanencia de las hojas. Las especies caducifolias, en general, presentan tasas fotosintéticas mayores, tasas de crecimiento más rápidas y, bajo condiciones de

crecimiento desfavorables, menores costos energéticos en el sistema radical (Givnish 2002; Chi et al. 2015). Por su parte, las especies perennes presentan una estación de crecimiento más larga, y bajos costos energéticos en cuanto a la renovación de hojas y de nutrientes en las mismas. Además, sus hojas son más resistentes a las heladas y a los ataques de insectos (Givnish 2002).

La formación de anillos depende, en la mayoría de las plantas leñosas, de la estacionalidad climática existente en una región. Por ello, no todas las especies leñosas producen secuencias de anchos de anillos posibles de ser fechadas y utilizadas para realizar inferencias climáticas (Tabla 1). En algunas especies los anillos no se encuentran claramente definidos o no se reconocen fácilmente; en otras, se forman más de una banda de crecimiento por año, lo cual dificulta la precisión del fechado (Fritts 1971).

Tabla 1: Relaciones entre la estacionalidad climática (hídrica y térmica) y la formación de anillos de crecimiento (López Callejas 2011).

		Estacionalidad térmica	
		Débil	Marcada
Estacionalidad hídrica	Débil	Sin anillos de crecimiento (crecimiento continuo)	Con anillos de crecimiento
	Marcada	Con anillos de crecimiento	Con anillos de crecimiento

En los trabajos dendroclimáticos, la selección del sitio de estudio es un aspecto clave. Por ejemplo, en aquellas áreas ubicadas a mayor elevación o en los límites de distribución de las especies, los sistemas físicos y biológicos suelen ser más sensibles a las fluctuaciones climáticas. Esto permite la obtención de registros paleo-ambientales altamente sensibles a las variaciones climáticas. Los ambientes poco modificados por las actividades antrópicas, como los Andes Patagónicos en América del Sur, también permiten obtener registros más sensibles a las variaciones climáticas (Lara et al. 2001; Villalba et al. 2003).

Para poder estudiar el clima del pasado y, por ejemplo, discernir si los cambios climáticos recientes se deben a factores antrópicos o naturales, es indispensable contar con reconstrucciones del clima que se extiendan en el tiempo más allá del periodo instrumental. Dada la relación entre el clima y el crecimiento de los árboles, la dendrocronología tiene un valioso potencial para reconstruir las variaciones climáticas de los últimos cientos a miles de años con resolución anual. En la actualidad, alrededor de 150 cronologías de anillos de crecimiento de más de 1000 años han sido elaboradas en el mundo; más de 80 pertenecen al sudoeste de EEUU y más de 25 a América del Sur (Martinelli 2004). Nuevas reconstrucciones climáticas se han ido desarrollando en casi todas las zonas boscosas subárticas y subantárticas, por fuera de las regiones de estudio tradicionales como Norteamérica y Europa (Martinelli 2004). Sin embargo, hasta la fecha, en el hemisferio norte continúan existiendo más estudios que en el hemisferio sur (Schweingruber, Braker, y Schär 1979; Luckman y Innes 1991; Briffa, Jones, y Schweingruber 1992; George y Ault 2014; Popa y Bouriaud 2014). En el caso de América del Sur, los árboles con anillos de crecimiento bien marcados, se encuentran ubicados a lo largo de la Cordillera de los Andes (16°-56°S). También se han desarrollado en los sectores más bajos a lo largo del océano Pacífico (38°-44°S) y en los archipiélagos del sur de Chile (47°-53°S, Boninsegna et al. 2009). En particular, el sur de América, conforma una región importante para estudiar las fluctuaciones climáticas debido a que es la única masa de tierra continua que existe entre las latitudes de 47° y 56°S (Szeicz 1997). En especial, en la Patagonia, resulta difícil documentar los cambios climáticos durante el siglo XX debido a la poca cantidad de estaciones meteorológicas existentes y a las discontinuidades e interrupciones de los datos instrumentales. En general, las series de datos son cortas, fragmentadas y, en ocasiones, con diversos errores debido a cambios indocumentados de la localización de las estaciones y de los instrumentos empleados para realizar las observaciones meteorológicas (Villalba et al. 2003).

El clima de América del Sur está influenciado por varios fenómenos de gran escala, entre estos, El Niño Oscilación del Sur, la temperatura de superficie del mar y la Oscilación Antártica (AAO; Garreaud et al. 2009). La AAO, en particular, es el principal modo de variabilidad de la circulación troposférica que ocurre al sur de los 20°S. Es un índice que se calcula a partir de la diferencia de la presión a nivel del mar entre los 40°S y 65°S (Gong y Wang 1999). Oscila entre fases positivas y negativas con efectos opuestos sobre la Antártida y las latitudes medias del Hemisferio Sur. Durante la fase positiva de la AAO, se presentan anomalías de presión negativa en altas latitudes (~65°S) que contrastan con anomalías de presión positiva en las latitudes medias (~45°S), induciendo un corrimiento hacia el polo de los vientos del oeste. La fase positiva se caracteriza por presentar condiciones cálidas y secas sobre el sur de América del Sur. Lo inverso ocurre para la fase negativa (Gillett, Kell, y Jones 2006). Si bien durante los últimos 50 años se ha observado un enfriamiento en la Antártida, en las latitudes medias del Hemisferio sur no se ha identificado este mismo patrón (Garreaud et al. 2009).

En la Patagonia se han realizado estudios de la relación clima-crecimiento de *Fitzroya cupressoides* (Boninsegna y Holmes 1985; Lara, Aravena, y Villalba 1994), de *Araucaria araucana* (Mundo et al. 2012; Hadad et al. 2015), de *Austrocedrus chilensis* (Rovere, Aizen, y Kitzberger 2003; Mundo et al. 2010), de *Pilgerodendron uviferum* (Roig y Boninsegna 1991), de *Nothofagus pumilio* (Schmelter 2000; Lara et al. 2001; Villalba et al. 2005; Srur et al. 2008) y de *N. betuloides* (Boninsegna et al. 1989; Jara 2011). Específicamente, en la zona del Lago del Desierto, en la provincia de Santa Cruz, se han realizado estudios de fluctuaciones de glaciares desde la Pequeña Edad de Hielo (Masiokas et al. 2009) y reconstrucciones de los patrones temporales de avalanchas de nieve a partir del uso de la dendrogeomorfología (Casteller et al. 2011). Sin embargo, no se han encontrado hasta la fecha trabajos dendroclimatológicos/ecológicos desarrollados en la zona.

El amplio rango de distribución latitudinal de *N. pumilio* (36°-56°S, Figura 1) permite la realización de trabajos dendroclimáticos y, por lo tanto, de reconstrucciones climáticas para una larga transecta (~2200 km) utilizando una única especie (Lara et al. 2001). De esta manera, estos autores estudiaron los patrones de crecimiento de la especie a lo largo de un gradiente latitudinal, bajo distintos regímenes climáticos, en Chile (35°-55°S). En los sitios ubicados más al norte de su distribución, el crecimiento de la especie resultó estar correlacionado positivamente con las precipitaciones y negativamente con las temperaturas de final de primavera y principio del verano. Por otro lado, en los sitios ubicados más hacia el sur, el crecimiento se encuentra negativamente correlacionado con la precipitación de final de primavera y principio del verano y positivamente correlacionado con la temperatura media anual (Lara et al. 2001, 2005). Así mismo, en el norte de la Patagonia Chilena (40°S) se determinaron correlaciones positivas entre el índice de la AAO y el crecimiento de *N. pumilio* para la época de primavera (octubre-diciembre) de la estación de crecimiento corriente (Álvarez et al. 2015). En Argentina, al sur de la Patagonia, también se han encontrado relaciones positivas del crecimiento de *N. pumilio* con variaciones anuales de la temperatura (Villalba et al. 2003) y con variaciones anuales del índice de la AAO (Villalba 2007). A lo largo de un gradiente altitudinal de distribución de *N. pumilio*, en El Chaltén, Santa Cruz, Argentina, el crecimiento del bosque ubicado en el límite superior, responde positivamente a las temperaturas del periodo junio-marzo. En cambio, el crecimiento del bosque inferior, en el límite con la estepa, está correlacionado negativamente con el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones de verano (Srur et al. 2008). Otros estudios han registrado la presencia de anillos falsos (bandas intra-anales) en árboles de *N. pumilio* cercanos al Glaciar Ameghino, Argentina (50°25' S; 73°10' O). En estos se observó una mayor cantidad de bandas intra-anales durante el siglo XX que a finales de los siglos XVIII y XIX, lo cual parece ser una respuesta a un largo periodo de calentamiento y a una disminución de la precipitación

registrada durante los últimos 100 años para la región sur de América del Sur (Rosenblüth, Casassa, y Fuenzalida 1995; Masiokas y Villalba 2004).

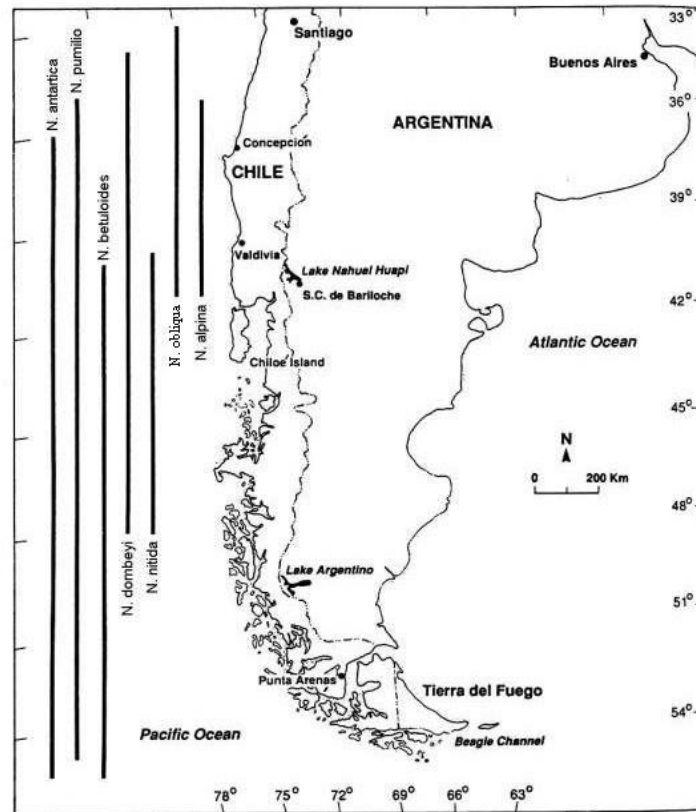


Figura 1: Mapa de distribución de las especies del género *Nothofagus* en el sur de América del Sur. Fuente: Veblen, Hill, y Read (1996)

Por otro lado, *N. betuloides* es una de las especies de *Nothofagus* en América del Sur que vive mayor cantidad de años, pudiendo llegar a superar los 600 años de edad (628 años; Gutiérrez et al. 1991). Su longevidad y su distribución geográfica (Figura 1), junto a condiciones que permiten la conservación de su madera, hacen que sea una especie valorada para realizar estudios dendrocimáticos (Roig y Villalba 2008). Sin embargo, considerando que es endémica de los bosques subantárticos chilenos y argentinos, son relativamente pocas las reconstrucciones climáticas que se han realizado a partir de los anillos de crecimiento de esta especie. En una reconstrucción de la temperatura para los últimos 250 años en Tierra del Fuego se empleó una combinación de registros

dendrocronológicos de *N. pumilio* y *N. betuloides* (Boninsegna et al. 1989). En un trabajo posterior, Villalba et al. (1997) emplearon estos registros dendrocronológicos para reconstruir las variaciones en el Índice Trans-Polar (TPI), una expresión de patrones opuestos en la circulación atmosférica entre Nueva Zelanda y el extremo sur de América del Sur. Cronologías de ancho de anillos también se han realizado con *N. betuloides* en la Isla Navarino (Tierra del Fuego, Chile) con el objetivo de reconstruir la precipitación, la temperatura local y la AAO (Jara 2011). Jara (2011) encontró correlaciones significativas y negativas para las estaciones de otoño, invierno y principios de primavera de la estación de crecimiento actual con la temperatura y correlaciones negativas para casi la totalidad de los meses, del año previo y corriente, con la AAO. No encontró correlaciones significativas con la precipitación (Jara 2011). En los Andes Patagónicos de Chile (45–46°S) se observaron correlaciones positivas entre el crecimiento de *N. betuloides* y las temperaturas de verano. En cuanto a la respuesta del crecimiento a la precipitación, en los sitios costeros de Chile (Laguna Zanahoria y Trailtop), se registraron correlaciones negativas para la estación de crecimiento del año corriente (Szeicz 1997). Sin embargo Villalba et al. (2012) muestran correlaciones negativas entre el crecimiento de *N. betuloides* y la temperatura anual para el sur de América del Sur. Por otro lado, Suarez et al. (2015), en el norte de la Patagonia argentina, obtuvo correlaciones positivas entre el crecimiento de *N. dombeyi*, especie perenne como *N. betuloides* aunque con distinta distribución, y la precipitación de los meses de verano del año previo y correlaciones negativas con la temperatura durante el periodo de crecimiento del año corriente.

Obtener información sobre las características de crecimiento de las especies arbóreas y sobre su relación con diversos factores climáticos es fundamental para lograr, en un futuro, un mejor manejo de los recursos naturales en función de los cambios ambientales previstos en relación al Calentamiento Global. Como se mencionó anteriormente, no son abundantes las investigaciones sobre variabilidad climática y patrones de crecimiento de

las especies arbóreas del género *Nothofagus* en la zona del Lago del Desierto. Mediante el presente trabajo, se pretende complementar el conocimiento existente acerca de los patrones de crecimiento de dos especies de árboles con diferencias en el tiempo de permanencia de sus hojas sobre el fuste, *N. pumilio* (caducifolio) y *N. betuloides* (perennifolio). Además se busca ampliar los conocimientos acerca de la influencia del clima sobre su crecimiento, con el fin de evaluar la potencialidad de las mismas como proxy climático en la zona del Lago del Desierto. De esta manera, mejorar nuestro conocimiento sobre la variabilidad del clima pasado (temperatura, precipitación y AAO) a partir del estudio de sus anillos de crecimiento ya que, cerca de la zona no se encuentran datos climáticos instrumentales que abarquen tan amplio rango de tiempo.

Hipótesis

1. Debido a que ambas especies presentan diferencias en el tiempo de permanencia de sus hojas, *N. pumilio* (caducifolio) y *N. betuloides* (perennifolio), los patrones de crecimiento son diferentes.
2. El crecimiento radial de *N. pumilio* y *N. betuloides* en el Lago del Desierto se encuentra asociado a la variabilidad climática local y a la AAO, ya que ambas especies demostraron presentar vínculos significativos con la variación de la temperatura, precipitación y AAO en otros sitios dentro de su rango de distribución. Por lo tanto, ambas especies son adecuadas para reconstruir dichas variables, en la zona del Lago del Desierto, Santa Cruz, Argentina.

Predicciones

1. *N. pumilio*, por ser una especie caducifolia, presenta mayores valores de crecimiento que *N. betuloides*.
2. Existen correlaciones significativas y estables en el tiempo entre las variables climáticas, la AAO y el crecimiento de ambas especies.

Objetivos

Objetivo general

Comparar los patrones de crecimiento de *N. pumilio* y *N. betuloides* y evaluar su potencial con el fin de realizar una reconstrucción de diferentes variables climáticas (temperatura y precipitación) en la zona del Lago del Desierto, Patagonia Sur y de la variabilidad de la AAO durante los últimos 200-300 años.

Objetivos particulares

1. Desarrollar y comparar cronologías de ancho de anillo de *N. pumilio* y *N. betuloides* para el Lago del Desierto, Provincia de Santa Cruz.
2. Relacionar los patrones de crecimiento de ambas especies con los registros instrumentales de temperatura y precipitación de la región.
3. Relacionar los patrones de crecimiento con la variación en la AAO, uno de los forzantes dominantes de la variabilidad climática en el hemisferio sur.
4. Evaluar la potencialidad de *N. pumilio* y *N. betuloides* como especies adecuadas para reconstruir las variaciones de la temperatura y la precipitación regionales y de la AAO a escala hemisférica.

Metodología

Área de estudio

El sitio de estudio se ubica en las cercanías del Lago del Desierto, en la provincia de Santa Cruz, Patagonia argentina (49°01'55"S – 72°52'11"O), a una elevación de 571 m.s.n.m. El Lago del Desierto está situado en la vertiente oriental del Campo de Hielo Sur, posee unos 15 km de longitud en sentido N-S, por 1,8 km de ancho. Recibe agua de numerosos arroyos y torrentes, y desagua por su extremo sur, constituyendo las nacientes del Río de las Vueltas (Borgel 1991). Dos conjuntos de relieves enmarcan al lago: por el oeste un conjunto de cumbres englaciadas sin encadenamiento continuo,

destacando, el Cerro Vespigniani. Por el este, se encuentra el cordón Martínez de Rozas, que se extiende por más de 35 km (Borgel 1991; Figura 2).

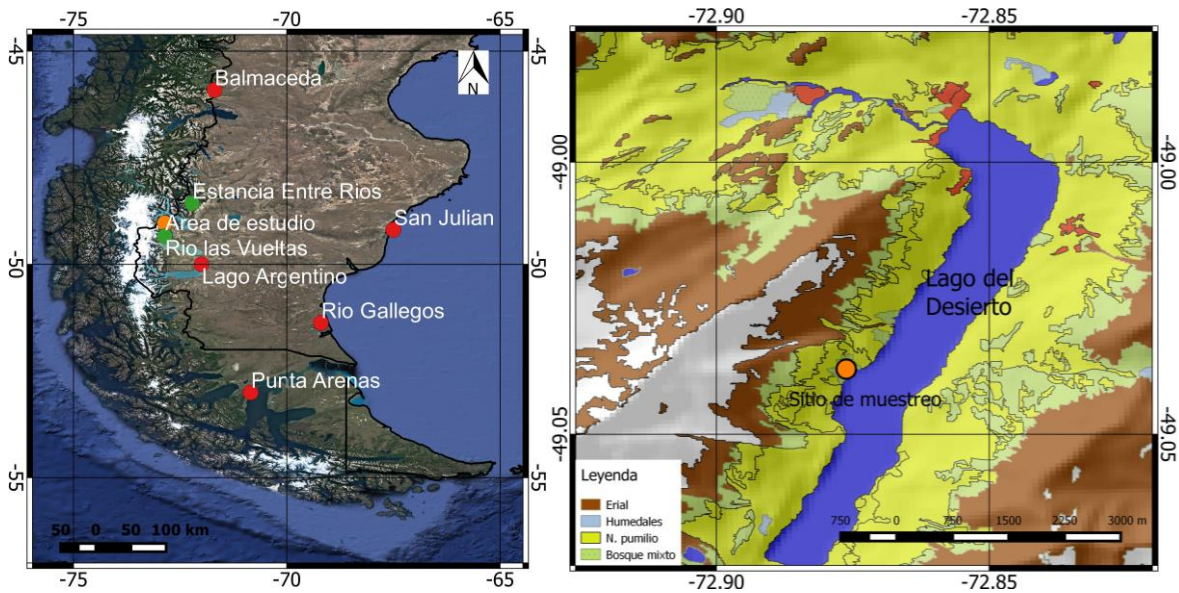


Figura 2: a) Ubicación del sitio de estudio (punto naranja) y de las estaciones meteorológicas de temperatura (puntos rojos) y precipitación (puntos verdes). b) Ubicación del sitio de estudio (punto naranja) y tipos de cobertura vegetal en la zona del Lago del Desierto; modificado de CIEFAP y MAdS (2016).

El clima en la zona de estudio es transicional entre marítimo frío al oeste y seco continental hacia el este en la estepa patagónica. La precipitación media anual aumenta de este a oeste, llegando a los 7000-8000 mm en el Campo de Hielo Patagónico Sur o en las mayores elevaciones de la cordillera (~3000 m.s.n.m). El mínimo de precipitación anual (300 mm) se registra en el sector este, a aproximadamente 300 m.s.n.m. (Villalba et al. 2003; Masiokas et al. 2009). La precipitación estimada para el Lago del Desierto excede los 1300 mm.año⁻¹ (Casteller et al. 2011). La temperatura media anual es de 4,8°C (Laguna Torre, 30 km al SE del sitio de estudio a 670 m.s.n.m.; Casteller et al. 2011). Además, estudios regionales, utilizando los limitados registros climáticos disponibles en el área (aproximadamente de 60 años), han demostrado que existe una tendencia a un aumento de la temperatura (Rosenblüth, Fuenzalida, y Aceituno 1997; Villalba et al.

2003). En contraposición, los cambios a largo plazo para la precipitación son más variables entre diferentes estudios. Algunos, empleando estaciones de la región, han registrado una tendencia negativa (Rosenblüth, Casassa, y Fuenzalida 1995; Rivera 2004); mientras que análisis más recientes, utilizando registros de precipitación homogeneizados, no registran ningún tipo de tendencia (Masiokas et al. 2009).

El área pertenece a la provincia fitogeográfica de los Bosques Subantárticos y se encuentra al sur del distrito del Bosque Caducifolio (Figura 3; Cabrera 1976). La especie arbórea dominante es *N. pumilio*, en ocasiones acompañada por *N. betuloides*, y en algunos sitios temporariamente anegados o muy fríos también se puede encontrar ñire (*N. antarctica* [G. Forster] Oerst.; Masiokas et al. 2009).



Figura 3: Fotos tomadas por Ricardo Villalba en el sitio de estudio.

Por último, hay que tener en cuenta la importancia geopolítica que posee el Lago del Desierto para la República Argentina, ya que esta área ha sido punto de conflicto con Chile en cuanto a su pertenencia. Fue el laudo arbitral de 1994-1995 quien puso punto final a esta controversia limítrofe argentino-chilena (Pintore 2012).

Materiales

Nothofagus pumilio “lenga”

Nothofagus pumilio es un árbol perteneciente a la familia Nothofagaceae, representativa de los bosques andino-patagónicos. Crece en Chile y Argentina entre los 36 y 56°S (Figura 1; Lara et al. 2001) a lo largo de los Bosques Subantárticos; siendo la especie arbórea de distribución más amplia en esta provincia fitogeográfica. En Neuquén, Río Negro y Chubut existen bosques puros, entre los 1050 y 1700 m.s.n.m. En Tierra del Fuego crece asociada a *N. betuloides* y *N. antarctica* (Tortorelli 1956).

La especie puede alcanzar una altura de 35-40 m y un diámetro de 1,50 m. Sus hojas son caducas (2-4 cm de longitud y 1,3-2,2 cm de ancho), sus flores masculinas y femeninas solitarias y el fruto es un triaquenio de 7 mm de largo. La madera posee una albura blanquecina y un duramen blanco-rosáceo; es de textura fina, homogénea, pesada (ρ : 0,537-0,590 kg.cm⁻³). Los anillos de crecimiento se encuentra bien marcados (Figura 4a y d). Los vasos están distribuidos en forma difusa con trayecto rectilíneo, son del tipo múltiple, constituidos por 2-4 poros (Figura 4a). Poseen perforaciones simples, laterales o terminales y tabiques pronunciadamente oblicuos; con puntuaciones opuestas. Las fibras y fibro-traqueidas se encuentran dispuestas radialmente con puntuaciones lenticulares (Figura 4b). Los radios leñosos tienen un trayecto rectilíneo a levemente sinuoso, son uniseriados y numerosos (11-15 por mm; Figura 4c; Tortorelli 1956).

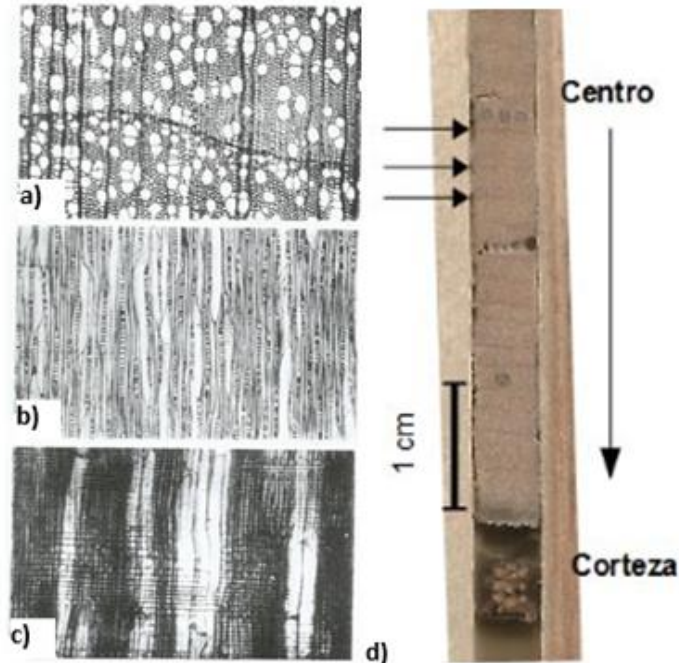


Figura 4: Cortes de la madera de *N. pumilio*: a) corte transversal (70x); b) corte longitudinal tangencial (70x); c) corte longitudinal radial (70x), tomados de Tortorelli (1956) y d) foto de los anillos de crecimiento de una muestra de barreno. La flecha vertical marca la dirección del crecimiento (desde la médula a la corteza) y las flechas horizontales muestran los límites de los anillos de crecimiento.

Nothofagus betuloides “guindo”

Nothofagus betuloides pertenece a la familia Nothofagaceae y es endémica de los Bosques Subantárticos. El nombre vulgar de la especie es ‘coihue de Magallanes’ en Chile y ‘guindo’ en Argentina (Promis et al. 2008). Esta especie posee la distribución más austral de todas las de su familia, ubicándose en Chile desde Valdivia (40° 31’ S) hasta el archipiélago de Cabo de Hornos (55° 31’ S), y en Argentina desde los 48° S hasta Tierra del Fuego e Isla de los Estados (Figura 1; Tortorelli 1956; Promis et al. 2008). *N. betuloides* crece principalmente en Tierra del Fuego -muchas veces asociada a *N. pumilio*- siendo más escasa en Santa Cruz (Tortorelli 1956).

La especie alcanza una altura de 35 m y un diámetro de 1,20 m. Sus hojas son perennes (1-2 cm de longitud, 8-10 mm de ancho), sus flores masculinas axilares y el fruto se encuentra compuesto por 3 aquenios. En cuanto a la madera, la albura es blanco-

amarillenta a grisácea y el duramen blanco-rosáceo; es de textura fina, homogénea, blanda y pesada (ρ : $0,540 \text{ kg.cm}^{-3}$) con los anillos de crecimiento bien diferenciados (Figura 5a y d). Los vasos están dispuestos radialmente, son de trayecto rectilíneo (Figura 5a), con perforaciones simples y orladas y tabiques inclinados; con puntuaciones intervasculares opuestas con aréola oval y abertura interna lineal inclusa. Las fibras y fibro-traqueidas se encuentran dispuestas radialmente y son de sección redonda o poligonal, con puntuaciones fusiformes (Figura 5b). Por último, los radios leñosos tienen un trayecto rectilíneo, son uniseriados y numerosos (9-12 por mm; Figura 5c; Tortorelli 1956).

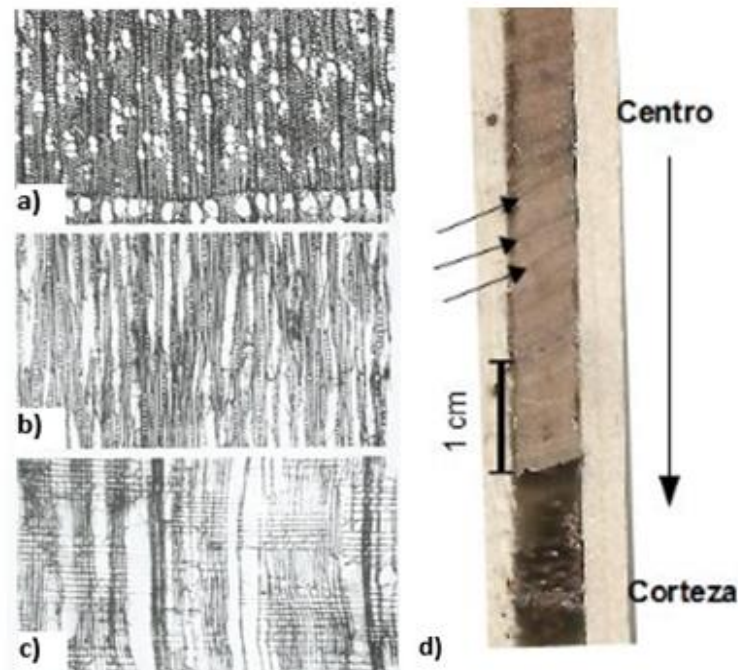


Figura 5: Cortes de la madera de N. betuloides: a) corte transversal (70x); b) corte longitudinal tangencial (70x); c) corte longitudinal radial (70x), tomados de Tortorelli (1956) y d) foto de los anillos de crecimiento de una muestra de barreno. La flecha vertical indica la dirección del crecimiento (desde la médula a la corteza) y las flechas horizontales muestran los límites de los anillos de crecimiento.

Datos climáticos

Los datos meteorológicos utilizados fueron brindados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y complementados con datos disponibles en la Base de Datos

Hidrológica Integrada (BDHI) perteneciente a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SRH; <http://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/rh-base.php>), para el caso de las estaciones en Argentina. Para aquellas pertenecientes al territorio chileno, se utilizaron datos de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC; <http://164.77.222.61/climatologia/>; Figura 2 y Tabla 2).

Para seleccionar las estaciones meteorológicas que conformarían la serie regional de temperatura y precipitación se realizaron correlaciones entre todas las estaciones disponibles para la zona de muestreo para las diferentes estaciones del año (Anexo). Las estaciones que mostraban correlaciones superiores a 0,7 fueron seleccionadas y se reportan en la Figura 2 y Tabla 2.

Para cada registro de temperatura, se obtuvieron las medias mensuales y sus desviaciones estándar a partir de los años que poseían en común las distintas estaciones (mínimo 20; de 1979 a 1999) y que además eran continuos en el tiempo. Luego, se utilizaron estas medias y desviaciones estándar según la siguiente fórmula:

$$(\text{dato} - \text{media}) / \text{desvío estándar}$$

De esta manera se obtuvieron los desvíos con respecto a la media para cada dato. Para la precipitación se calculó también la media mensual (para el periodo 1993 - 2014), siguiendo el mismo criterio utilizado para la temperatura. Luego, se calculó el porcentaje que cada dato representa con respecto a dicho valor. Así, a partir de estos nuevos resultados, se pudo obtener un promedio regional de los desvíos, en el caso de la temperatura y de los porcentajes, para la precipitación.

También se incluyó al índice de la AAO como un forzante climático capaz de influir sobre el crecimiento de *N. pumilio* y *N. betuloides*. Se utilizó el Índice AAO de Marshall (<http://www.nerc-bas.ac.uk/icd/gjma/sam.html>; 15/11/2016), basado en datos meteorológicos observados, que se extienden desde 1957 al 2016. Con el fin de conocer

Tabla 2: Detalle de las estaciones meteorológicas utilizadas para realizar las series regionales de temperatura y precipitación. CH: Chile y ARG: Argentina.

Estación	Latitud S	Longitud O	Altitud (m)	Variable	País	Fuente	Periodo	Datos faltantes
Balmaceda	45°54'46"	71°41'39"	517	Temperatura	CH	DMC	1961-2010	18,17%
San Julián	49°11'24"	67°30'	2	Temperatura	ARG	SMN	1956-2016	13,66%
Lago Argentino	50°19'59"	72°18'	-	Temperatura	ARG	SMN	1956-2000	33,33%
Rio Gallegos	51°22'12"	69°12"	19	Temperatura	ARG	SMN	1956-2016	7,34%
Punta Arenas	53°0'11"	70°50'42"	38	Temperatura	CH	DMC	1956-2015	2,87%
Rio las Vueltas	49°20'35"	72°51'38"	345	Precipitación	ARG	SRH	1992-2015	4,17%
Estancia Entre Ríos	48°15'19"	72°13'11"	480	Precipitación	ARG	SRH	1992-2014	0,00%

la influencia en la región de la AAO sobre la temperatura y la precipitación durante la estación de crecimiento de las especies analizadas (octubre-marzo) se realizaron mapas de correlación espacial. Para ello se utilizó la página web del Instituto Meteorológico de Holanda (KNMI: climexp.knmi.nl). Esta página cuenta con datos de distintas variables climáticas grilladas y de índices climáticos para todo el mundo y además permite calcular correlaciones espaciales entre ellas.

Trabajo de laboratorio

En enero de 2016 se muestrearon 24 árboles de *N. pumilio* y 20 árboles de *N. betuloides* seleccionando árboles dominantes, con buen estado sanitario y con un diámetro superior a 90 cm. Las muestras de barreno recolectadas se montaron sobre regletas de madera. Posteriormente, fueron pulidas con lijas de granulometría de densidad creciente (80 a 600 granos.cm⁻²), para obtener superficies lisas y sin imperfecciones que permitieran una correcta visualización del arreglo anatómico que determina la delimitación de los anillos de crecimiento (Stokes y Smiley 1968). El fechado visual se realizó con ayuda de una lupa binocular (hasta 50X). Los anillos fueron fechados, desde la corteza hacia la médula, asignando a cada anillo el año calendario correspondiente al año de comienzo de formación del leño siguiendo la convención para el hemisferio sur (Schulman 1956). El ancho de los anillos de crecimiento se midió en dirección perpendicular a los tejidos radiales desde la médula hacia la corteza en una tableta Velmex UniSlide conectada a un contador digital con una precisión de 0,001 mm. Para verificar la calidad del fechado visual y la precisión de las series medidas se utilizó el programa COFECHA (Holmes 1983). Además se utilizó el programa EDRM (Edit Ring Measurements; Holmes 1999), para editar y aplicar correcciones a las mediciones; ambos programas pertenecen a la librería de programas dendrocronológicos DPL (Dendrochronology Program Library; Holmes 1999). Mediante el programa COFECHA también se obtuvieron los siguientes estadísticos: el coeficiente de auto-correlación (influencia del crecimiento del año previo

sobre el año de crecimiento corriente), la sensibilidad media (diferencia relativa que existe entre el ancho de un anillo con el siguiente; variabilidad año a año) y la inter-correlación entre series (Holmes 1983).

Análisis estadísticos

En términos estadísticos una serie de anillos de crecimiento de árboles es una serie de tiempo discreta de observaciones tomadas en intervalos de tiempo iguales (Fritts 1976). Como el crecimiento anual de los árboles es un fenómeno muy complejo, éste no puede ser descrito en términos de un modelo matemático exacto, por lo que hay que considerarlo como un proceso estocástico, al que le caben las leyes de la probabilidad. Además, las series de anillos no son independientes en la escala temporal, es decir, el ancho del anillo en el año t depende del ancho del anillo en el año $t-1$. Esto se debe a que el tamaño del ancho del anillo en un año en particular no sólo responde a las variables ambientales de ése año, sino también a las reservas que acumuló el árbol en los años previos y de la edad del mismo (Fritts 1976).

Siguiendo el principio del crecimiento agregado, cada serie de ancho de anillos es una combinación lineal de cambios en el crecimiento producto de: señales climáticas, del efecto de la edad y de la ocurrencia de disturbios (Fritts 1976). Este principio establece que, cada serie individual de crecimiento de un árbol puede descomponerse en un agregado de factores ambientales, tanto naturales como antrópicos, que afectan los patrones de crecimiento en el tiempo. En conclusión, una curva de anillos de crecimiento puede separarse en: a) tendencia debida a la edad, b) señal estocástica común, que afecta a todo el rodal de árboles estudiados y c) señal estocástica única, que afecta sólo al árbol (Fritts 1976).

Con el fin de obtener las cronologías de ancho de anillos, primero se transformaron los datos aplicando una función potencial para estabilizar la varianza, logrando series con mayor grado de homoscedasticidad. Luego se realizó una estandarización para convertir

las series de anchos de anillos en estacionarias, adimensionales y, por lo tanto, comparables entre sí. En el caso del estudio de los patrones de crecimiento, el ajuste realizado fue utilizando la función de la media. Para eliminar el efecto de la edad, se realizó un destendenciado, aplicando una función exponencial negativa. Esta cronología se utilizó para realizar las comparaciones con las variables climáticas. Así, para cada caso, se obtuvo una ecuación que permite generar valores predichos de crecimiento. La relación entre el crecimiento observado y el valor ajustado/predicho genera un índice adimensional, de media igual a 1 y varianza homogénea. Este índice se logra dividiendo cada medida del ancho del anillo por la estimación del crecimiento (Cook 1985):

$$I = A / P$$

Donde I: índice de ancho de anillos; A: valor real y P: valor predicho.

Estas nuevas series obtenidas para cada individuo, se combinaron para obtener una cronología de ancho de anillos del rodal para cada especie (cronología estándar). Todos estos pasos se realizaron utilizando el programa Arstan (Cook 1985). Además se obtuvo una «cronología residual» con la que se realizaron las correlaciones con los factores climáticos. En esta cronología se remueve la autocorrelación. Mediante el programa Arstan también se obtuvieron los estadísticos de la cronología, el EPS (expressed population signal) y el Rbar. El EPS es una medida de la fuerza de la señal común en una cronología, representa la similitud entre la cronología en estudio y una hipotética que se replica infinitamente a partir de las series individuales incluidas en la cronología de estudio para un intervalo común (Cook 1985). Wigley, Briffa, y Jones (1984) sugieren que el umbral a partir del cual el EPS es significativo es de 0,85. Por lo tanto, en el presente trabajo, se utilizó la cronología de ancho de anillos a partir del año en el que el EPS superó dicho valor. El Rbar es el coeficiente de correlación medio para todos los pares de coeficientes de correlación posibles entre series de anillos de árboles individuales,

calculados para un intervalo de tiempo común específico (Briffa y Jones 1990). En la presente tesis se utilizó una ventana de 50 años con una superposición de 25 años.

Se compararon las cronologías estándar ajustadas con la función de la media para cada especie, utilizando correlaciones de Pearson. Además, con el fin de comparar cambios en los valores medios de los patrones de crecimiento para ambas especies se utilizó la prueba de detección de cambios robustos propuesta por Rodionov (2004, 2006). Este algoritmo permite la detección temprana de cambios en los valores medios de la secuencia de datos o serie temporal y, por lo tanto, el monitoreo de su magnitud a lo largo del tiempo (Rodionov 2004).

Se analizó la relación de las cronologías residuales de *N. pumilio* y de *N. betuloides* con los promedios regionales obtenidos para la temperatura y la precipitación, y con el índice de la AAO. De esta manera, se logró encontrar aquella combinación que permite describir mejor la relación clima-crecimiento. El análisis de las relaciones se hizo empleando el método de correlación de Pearson, mediante el programa estadístico R (R Core Team 2015). Se consideraron correlaciones significativas para un p-valor $\leq 0,05$.

Con el fin de realizar reconstrucciones climáticas, se seleccionaron aquellas correlaciones que eran significativas y más fuertes entre el crecimiento y las variables estudiadas. Se estudió la estabilidad de estas relaciones a lo largo del tiempo, por lo que se calculó la correlación entre las cronologías residuales de ancho de anillos y el valor de las variables climáticas para estas combinaciones. En el caso de las correlaciones con la precipitación, se utilizaron ventanas móviles de periodos de 9 años con desplazamiento anual, debido a que el periodo de análisis es muy corto (23 datos). Para la temperatura y el índice de la AAO las ventanas móviles utilizadas fueron de 19 años (59 datos). Se consideraron correlaciones significativas para un p-valor $\leq 0,05$.

Resultados

Cronologías de ancho de anillos estándar

La Tabla 3 presenta los estadísticos de las cronologías de *N. pumilio* y *N. betuloides* obtenidas en este estudio.

Tabla 3: Estadísticos de las cronologías estándar de *N. pumilio* y *N. betuloides*. Se muestran el incremento medio anual del ancho de anillos (IMA); el coeficiente de inter-correlación entre series a partir del COFECHA (IC); la sensibilidad media (SM); el valor de EPS, entre paréntesis el año a partir del cual el EPS es significativo; el coeficiente de correlación media entre series (R_{bar}) y el coeficiente de auto-correlación (AC).

Especie	Total de muestras	Muestras correlacionadas	Periodo máximo	IMA (mm)	IC	SM	EPS	R_{bar}	AC
<i>N. pumilio</i>	54	34	1754-2014	157,6	0,558	0,256	0,908 (1860)	0,359	0,69
<i>N. betuloides</i>	48	39	1650-2014	150,5	0,488	0,294	0,863 (1810)	0,380	0,71

La Figura 6 muestra las dos cronologías estándar en donde se puede apreciar el patrón de crecimiento de *N. pumilio* y *N. betuloides*. Si bien ambas especies presentan un patrón similar ($r=0,43$), el análisis de Rodionov, muestra que *N. pumilio* presenta menos cambios en los valores medios de crecimiento. Esta especie muestra dos períodos con crecimiento por debajo de la media que van desde 1869 a 1886 y de 1922 a 1947, siendo 1885 el año de menor crecimiento para el periodo estudiado. En cambio, el periodo 1886-1922 es el de mayor crecimiento del rodal a lo largo de toda la serie (Figura 6a).

Por otro lado, *N. betuloides* presenta un crecimiento escalonado durante el periodo 1822-1881 con cambios en el crecimiento medio en los años 1831 y 1845. Desde 1881 a la actualidad tiene un crecimiento relativamente estable con dos periodos cortos y de bajo crecimiento. El primero, se extiende de 1933 a 1943 y comprende el año 1940 que es el de menor crecimiento para todo el periodo de estudio; el segundo periodo comienza en el año 2000 y continua hasta el 2011 (Figura 6b).

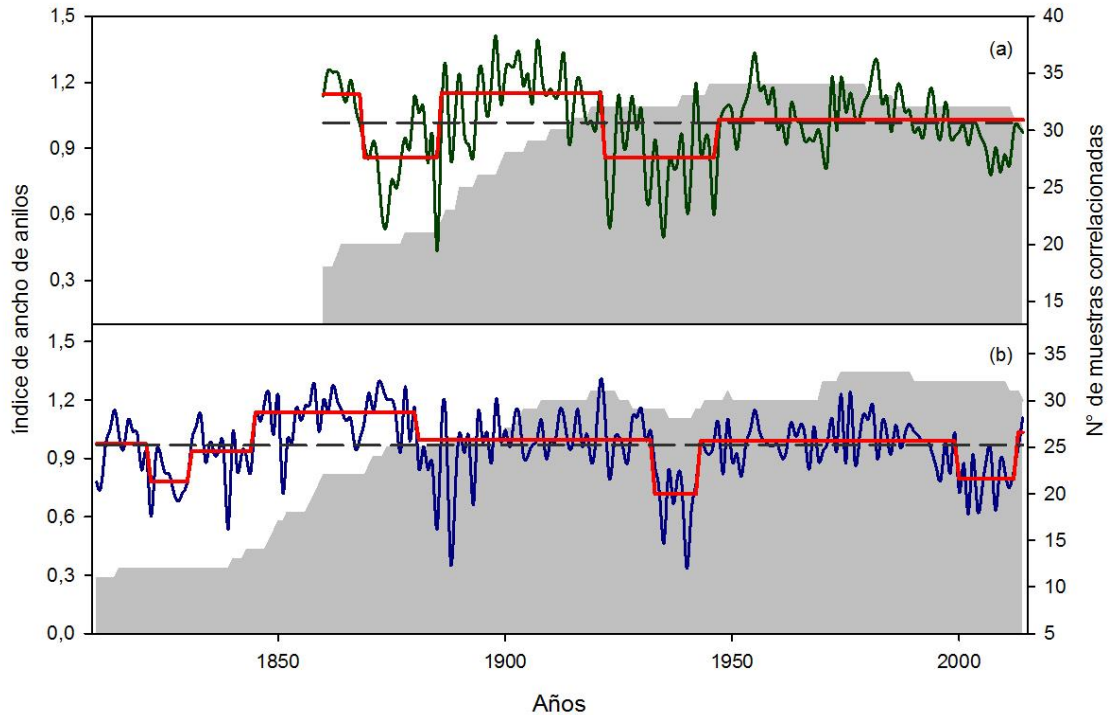


Figura 6: Cronologías estándar de (a) *N. pumilio* y (b) *N. betuloides*. En rojo se muestran los cambios en los valores medios de los crecimientos obtenidos a partir del análisis de Rodionov y con una línea negra punteada el valor medio. En gris se presenta el número de series utilizadas para realizar cada cronología.

Datos climáticos

La Figura 7 presenta un climograma del promedio regional obtenido a partir de las estaciones meteorológicas utilizadas (Figura 2, Tabla 2). Se observa que la temperatura disminuye durante los meses de invierno (junio, julio y agosto), con una media de 2°C.

Luego aumenta, y la temperatura máxima se registra durante los meses de verano (diciembre, enero y febrero). La media para estos meses varía entre los 12-14°C.

La precipitación presenta leves variaciones a lo largo del año, siendo más abundante durante las estaciones de otoño e invierno. En los meses de mayo y junio se registra la mayor precipitación (~43 mm.mes⁻¹). Enero y septiembre son los meses con menores precipitaciones (~20 mm.mes⁻¹), seguidos de noviembre, diciembre y febrero (promedio de 22 mm.mes⁻¹).

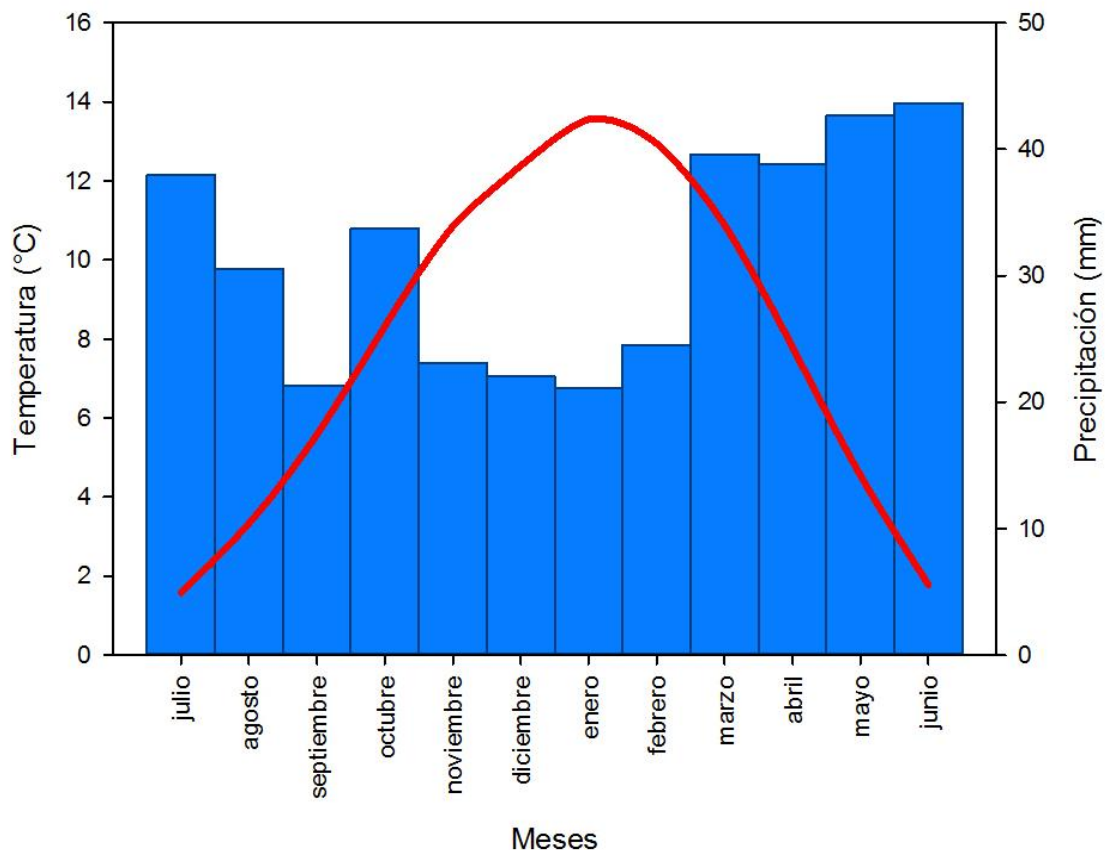


Figura 7: Climograma del promedio regional de las estaciones meteorológicas. Se muestran la precipitación media mensual (barras azules) y la temperatura media mensual (línea roja). Las estaciones meteorológicas utilizadas para obtener el promedio regional se detallan en la Figura 2 y Tabla 2.

En la Figura 8 se muestra la relación espacial entre la AAO y la precipitación y temperatura para el sur de América del Sur. Alrededor de la zona de estudio hay una correlación significativa y negativa con la precipitación y positiva con la temperatura.

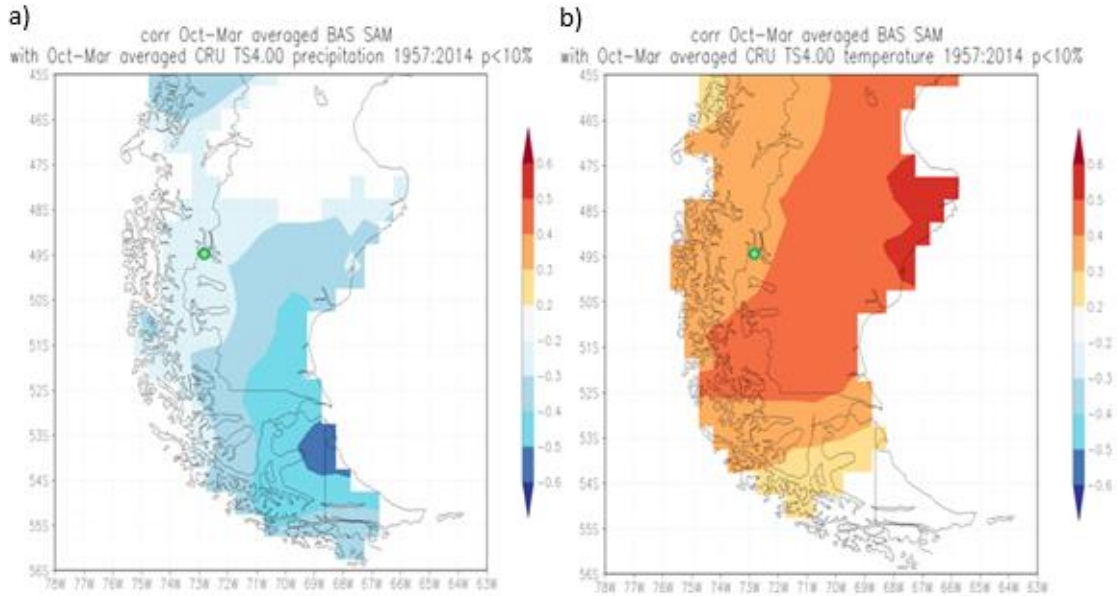


Figura 8: Mapas de correlación espacial entre a) la precipitación y AAO y b) la temperatura y AAO. El punto verde señala el sitio de estudio. Modificado de KNMI Climate Explorer (climexp.knmi.nl.)

Relación clima-crecimiento

La Figura 9 muestra las correlaciones entre las variables climáticas consideradas, la AAO y las cronologías de ancho de anillos residuales de *N. pumilio* y *N. betuloides*. No se encontraron relaciones significativas entre el crecimiento de *N. pumilio* y la precipitación (Figura 9a). El crecimiento de *N. pumilio* está influenciado positiva y significativamente por la temperatura del periodo de agosto-noviembre del año previo, y de fin de primavera y verano (noviembre-febrero) del año corriente (Figura 9b). En el caso de la AAO, la correlación es significativa y negativa para el periodo de septiembre-noviembre del año previo y de primavera y principio de verano (agosto-enero) del año corriente (Figura 9c). La correlación entre el crecimiento de *N. betuloides* y la precipitación es positiva para el periodo de primavera y verano (agosto-febrero) del año previo (Figura 9d). Por otra parte, las relaciones del crecimiento de *N. betuloides* con la temperatura y con el índice de la AAO, para más de un mes, resultaron no significativas (Figura 9e y f).

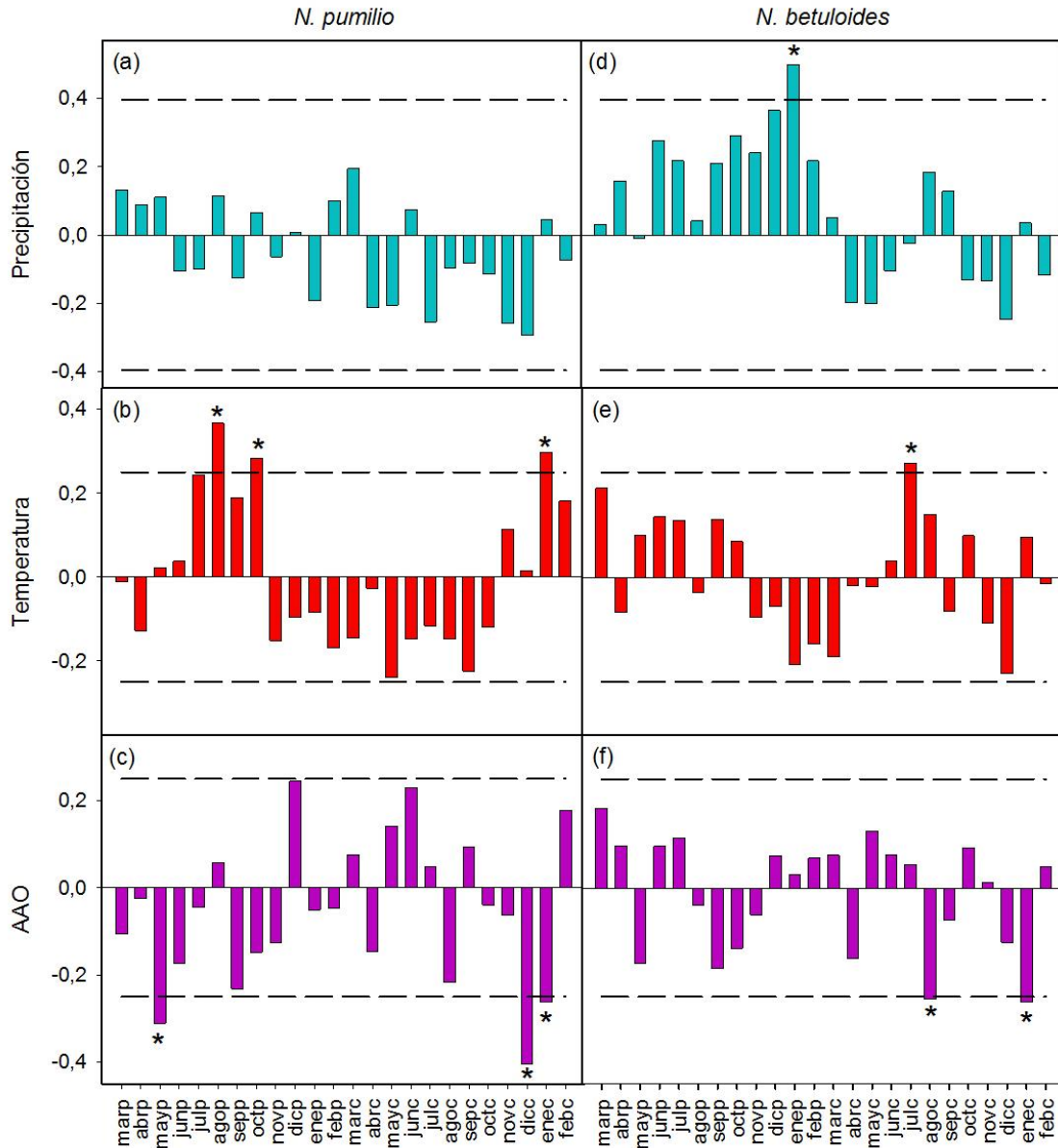


Figura 9: Coeficientes de correlación entre la precipitación, la temperatura y el índice de la AAO con las variaciones interanuales en el crecimiento de *N. pumilio* y *N. betuloides*. Se muestran los meses del año previo identificados con una 'p' y los de la estación de crecimiento corriente con una 'c'.

En la Figura 10 se muestran las correlaciones de las cronologías de *N. pumilio* y *N. betuloides* con los valores promedio de las variables climáticas correspondientes a los periodos que resultaron significativos (Tabla 4). El coeficiente de correlación entre *N. betuloides* y la precipitación es significativo para casi todo el periodo considerado y varía

entre 0,47 y 0,87. Los años significativos abarcan el periodo de 1966 al 2008 (promedio de 0,63). Sólo el periodo de 9 años centrado en el 2002 no es significativo (Figura 10a). Los valores de correlación entre la temperatura y el crecimiento de *N. pumilio* son positivos y significativos de 1966 a 1995 (promedio de 0,51). A partir del periodo de 19 años centrado en 1996, aunque la correlación sigue siendo positiva es no significativa (Figura 10b). El coeficiente de correlación entre el índice AAO y la cronología de *N. pumilio* se comporta irregularmente y toma siempre valores negativos. Comienza siendo significativo para el promedio de 19 años centrado en 1966 hasta 1971 (promedio de -0,44). De 1972 a 1975 la correlación es no significativa (promedio -0,25) y a partir de este periodo es nuevamente significativa hasta 1984 (promedio de -0,45). De 1985 al 2005 vuelve a ser no significativa (promedio de -0,15) excepto por los años 1990 y 1991 (Figura 10c).

Tabla 4: Correlaciones entre las variables climáticas y las cronologías de ancho de anillos que resultaron significativas y más fuertes entre sí. NS = no significativa.

Variable	Especie	
	<i>N. pumilio</i>	<i>N. betuloides</i>
Precipitación	NS	Diciembre-enero del año previo (r = 0,49)
Temperatura	Agosto-octubre del año previo (r = 0,40)	NS
AAO	Diciembre-enero del año corriente (r = -0,39)	NS

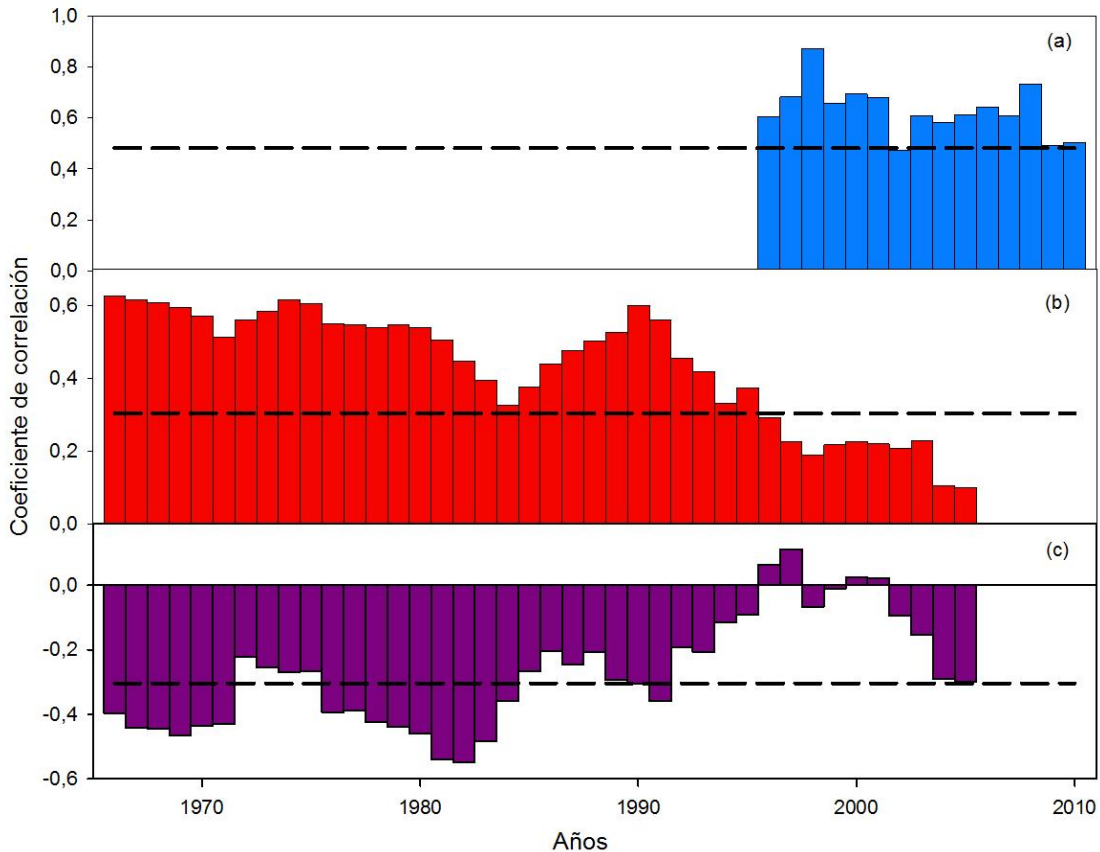


Figura 10: Cambios en el coeficiente de correlación para: (a) *N. betuloides* y la precipitación de diciembre a enero del año previo con una ventana móvil de 9 años, (b) *N. pumilio* y la temperatura de agosto a octubre del año previo con una ventana móvil de 19 años y (c) *N. pumilio* y la AAO de diciembre a enero del año corriente con una ventana móvil de 19 años. La línea punteada muestra el umbral de significancia.

Discusión

El objetivo general de este trabajo fue estudiar los patrones de crecimiento de dos especies de la familia Nothofagaceae en el Lago del Desierto, Santa Cruz, suroeste de Patagonia argentina. Para ello, se analizaron un total de 102 muestras de barreno de *N. pumilio* y *N. betuloides* con las que se elaboraron sus respectivas cronologías de ancho de anillos. Según Gutiérrez et al. (1991), *N. betuloides* es la especie dentro del género *Nothofagus* que vive mayor cantidad de años; en el presente trabajo los árboles de *N. betuloides*, cubrieron el periodo de 1650-2015 y presentaron una mayor edad que los de *N. pumilio*, individuos con los que se alcanzó a cubrir el periodo de 1754-2015. El EPS

resultó significativo a partir de 1810 para *N. betuloides* y a partir de 1860 para *N. pumilio*. Las series de *N. pumilio* correlacionaron mucho mejor entre ellas (IC: 0,56), aunque el valor obtenido es inferior al valor medio (0,62) reportado para la especie en la base de datos del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA 2017). Sin embargo, valores de 0,48 se han considerado como una alta inter-correlación entre series para la misma especie en la Patagonia chilena (Álvarez et al. 2015). En el caso de *N. betuloides* el valor obtenido es también levemente más bajo (0,49) al valor medio (0,52; NOAA 2017). En su tesis doctoral, Guerrido (2014), elaboró cronologías de *N. pumilio* y *N. betuloides* a partir de muestras recolectadas en las cercanías del Glaciar Perito Moreno, Santa Cruz. Estas cronologías abarcan un periodo similar al utilizado en esta tesina y sus índices de inter-correlación fueron de 0,45 y 0,43, respectivamente. Además, la construcción de la cronología de *N. betuloides* en la región de estudio es de especial importancia, ya que a excepción de las desarrolladas en el Glaciar Perito Moreno (Guerrido 2014), en Tierra del Fuego (Boninsegna et al. 1989) y en Chile (Szeicz 1997; Jara 2011), no se han realizado cronologías para esta especie en la Patagonia argentina. Si bien una de las especies es de hoja caduca y la otra perenne, ambas tienen un patrón de crecimiento similar ($r=0,43$). *N. betuloides*, presenta periodos de crecimiento por debajo de la media que son más cortos que los observados para *N. pumilio*. Esta diferencia podría deberse a que las especies perennes, al tener una estación de crecimiento más larga, pueden recuperar su crecimiento más rápidamente ante situaciones climáticas desfavorables; además son más tolerantes a las situaciones de estrés (Givnish 2002). Al principio, tanto *N. pumilio* como *N. betuloides* presentan dos disminuciones importantes en el crecimiento medio, aproximadamente en los periodos de 1870-1880 y 1920-1950. Se observó luego una leve y corta caída del crecimiento entre 1960 y 1970. Esta disminución para el periodo también fue reportada para *N. pumilio* al norte de Chile por Álvarez et al. (2015). Luego hay un aumento del crecimiento en ambas

especies entre 1976 y 1980 que también lo observaron Álvarez et al. (2015) en *N. pumilio*. Para las últimas dos décadas se observa una disminución en el crecimiento en ambas especies, reportada también por Villalba et al. (2012) en Tierra del Fuego para los últimos 50 años en *N. betuloides*. Esto ocurre por cambios en las condiciones ambientales que afectan el crecimiento tanto en *N. pumilio* como en *N. betuloides*.

El crecimiento de ambas especies está influenciado por diferentes variables climáticas. En el caso de la precipitación, se encontraron correlaciones positivas y significativas con las cronologías de *N. betuloides*. Las correlaciones obtenidas en este trabajo son significativas para la primavera-verano del año previo, especialmente para los meses de diciembre y enero, donde la relación fue más fuerte ($r=0,49$). Por un lado, es lógico que las condiciones climáticas del año previo puedan afectar al crecimiento en la temporada corriente. Por ejemplo, sequías de un año pueden limitar la formación de nuevas ramas, raíces, brotes, hojas y, a su vez, afectar los procesos de crecimiento del año siguiente (Fritts 1971). Por el otro, los resultados obtenidos en este trabajo no coinciden con los encontrados por Szeicz (1997), quien obtuvo correlaciones negativas con la precipitación durante el periodo de crecimiento de *N. betuloides* en sitios costeros de Chile (Laguna Zanahoria y Trailtop). Sin embargo, el autor adjudica estas diferencias a la presencia de suelos saturados -por ser una región marítima- y a una mayor nubosidad y, por lo tanto, a menores niveles de radiación solar (Szeicz 1997). En este sentido, las condiciones del sitio de estudio son muy diferentes a las reportadas por Szeicz (1997). En el área muestreada en esta tesina, los suelos pertenecen al grupo Andisol (Panigatti 2010), son suelos bien drenados con pendientes suaves y de escurrimiento rápido que no se encontrarían saturados en ningún momento del año. Por otro lado, Suarez et al. (2015), obtuvo correlaciones positivas entre el crecimiento de *N. dombeyi* en el norte de la Patagonia argentina y la precipitación de los meses de verano del año previo y adjudica esta relación a una acumulación de reservas más que a un efecto directo del cambio en el

contenido hídrico del suelo. Las condiciones de humedad, en combinación con temperaturas moderadas, reducen el estrés hídrico, aumentan las tasas fotosintéticas y facilitan el almacenamiento de carbohidratos para que sean utilizados en la próxima estación de crecimiento (Suarez et al. 2015). Si bien *N. dombeyi* no tiene naturalmente la misma distribución que *N. betuloides*, al ser ambas especies perennes y del mismo género sus respuestas a las precipitaciones pueden considerarse similares. En cuanto a *N. pumilio*, su crecimiento no mostró relación con la precipitación, lo cual se puede deber a que la precipitación, al ser abundante (mayor a 1300 mm.año⁻¹), no es un factor limitante para esta especie en la zona. En estudios previos en la Patagonia (41°S) se evaluó la respuesta de los patrones de crecimiento de *N. pumilio* al clima asociados a las variaciones en la precipitación a lo largo de un gradiente altitudinal de este a oeste (Schmelter 2000). Se observó que la respuesta a la temperatura y a la precipitación varía debido a cambios en los factores limitantes. Los árboles que se encuentran más hacia el oeste, a altitudes medias donde las temperaturas no son extremas y la precipitación no es un factor limitante, resultan menos sensibles a estas variables (Schmelter 2000). Esto explicaría las relaciones no muy fuertes entre las variaciones del clima y el crecimiento registradas en este trabajo.

Aunque en Lago del Desierto la influencia de la temperatura sobre el crecimiento de *N. betuloides* no es significativa, las relaciones entre la temperatura y el crecimiento de la especie varían según el sitio de estudio. Por ejemplo, Szeicz (1997) en la Patagonia Norte de Chile (45–46°S), encontró relaciones positivas con la temperatura de verano mientras que Villalba et al. (2012), en sitios más al sur, mostraron relaciones negativas entre el crecimiento radial de *N. betuloides* y la temperatura anual. En la Isla Navarino (Tierra del Fuego, Chile) Jara (2011) también obtuvo correlaciones negativas con la temperatura de las estaciones de otoño, invierno y principios de primavera de la estación de crecimiento corriente. Estas relaciones son causadas por el aumento sostenido de las temperaturas

anuales registradas para las últimas décadas que producen un déficit hídrico durante el periodo de crecimiento de *N. betuloides* (Jara 2011). Suarez et al. (2015) también obtuvieron para *N. dombeyi*, en el norte de la Patagonia argentina, correlaciones negativas con la temperatura durante el periodo de crecimiento del año corriente. Por otro lado, las relaciones entre la temperatura y el crecimiento de *N. pumilio* son positivas para los meses de verano y primavera del año previo (de agosto a octubre). En general, el aumento en la temperatura favorece en forma directa al crecimiento y, en forma indirecta, reduce la cobertura nival, alargando la estación de crecimiento (Schmelter 2000; Srur et al. 2008). En estudios realizados para *N. pumilio* a lo largo de un gradiente altitudinal en El Chaltén, Santa Cruz, Argentina, Srur et al. (2008) demostraron que en aquellos bosques en el límite superior, donde el recurso agua no resulta una limitante, existen relaciones positivas con la temperatura de junio-marzo. Por otro lado, en el bosque inferior, donde el recurso agua sí es limitante, se observa una tendencia negativa en el crecimiento con el aumento de las temperaturas de la estación de crecimiento y la disminución de las precipitaciones (Srur et al. 2008). De manera similar a los resultados de este trabajo, en el sur de la Patagonia, relaciones positivas fueron determinadas entre el crecimiento de *N. pumilio* y la temperatura de verano, del invierno tardío y la primavera temprana, para el año previo, utilizando registros de Río Gallegos, Punta Arenas y Ushuaia (Villalba et al. 2003). Además, algunos cambios en el crecimiento de la especie se deben a variaciones bruscas en la temperatura. Las caídas en el crecimiento entre 1960 y 1970 para *N. pumilio* (39°53'S, 72°03'O) coinciden con un periodo frío en el norte de la Patagonia (Álvarez et al. 2015). Además los aumentos en el crecimiento entre 1976 y 1980 se adjudican a un aumento de las temperaturas de noviembre-enero (Álvarez et al. 2015).

En estos últimos 50 años se ha observado una tendencia positiva persistente de la AAO, caracterizada por temperaturas cálidas y un clima seco entre los 40–50°S (Garreaud et al.

2009). En general, las condiciones climáticas asociadas a la fase positiva de la AAO provocan un bajo crecimiento en bosques de zonas mésicas (Villalba et al. 2012). En este sentido, aunque para las últimas dos décadas se observa, en ambas especies, una disminución en el crecimiento (Figura 6), en esta tesina no se obtuvieron correlaciones significativas entre el índice de ancho de anillos de *N. betuloides* y el índice de la AAO. Sin embargo, correlaciones negativas se han obtenido entre el crecimiento *N. betuloides* en Tierra del Fuego, debido a que un descenso de la precipitación provoca una disminución en el crecimiento (Villalba et al. 2012). Además, Jara (2011), en la Isla Navarino, determinó una correlación negativa con la AAO casi en la totalidad de los meses analizados, tanto para el período anterior como corriente de la estación de crecimiento. Durante esta fase positiva, se obtuvo en la presente tesis, una correlación negativa entre el crecimiento de *N. pumilio* y el índice de la AAO de verano (diciembre a enero) del año corriente. Estas relaciones negativas se explican debido a que en la fase positiva de la AAO las condiciones para el crecimiento son más estresantes y se presentan momentos más cálidos y secos. Correlaciones similares se encontraron entre *A. araucana* y el índice de la AAO en la Patagonia norte argentina. Estas fueron negativas para casi todo el periodo y significativas para los meses de verano de la estación corriente (Mundo et al. 2012). Además, este efecto también se observa, de nuevo, en *Araucaria araucana* y *Austrocedrus chilensis* en el noroeste de la Patagonia, demostrando el efecto de la AAO como forzante climático a gran escala (Villalba et al. 2012).

Por otro lado, se analizó la posibilidad de realizar una reconstrucción del clima pasado (temperatura, precipitación e índice de la AAO) en la zona de estudio, a partir del ancho de anillos de crecimiento de *N. betuloides* y de *N. pumilio*. Las reconstrucciones permiten conocer la variabilidad climática de los últimos siglos. Esto constituye un factor de gran importancia ya que el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes ni en los

últimos decenios ni milenios (Parry et al. 2013). En esta tesina, se determinaron las relaciones con la temperatura, la precipitación y el índice de la AAO mediante el método de correlación de Pearson. Al analizar los datos climáticos instrumentales, se encontraron algunas limitaciones. La más importante es la falta de estaciones meteorológicas en zonas cercanas al Lago del Desierto. Para la precipitación y la temperatura se utilizaron promedios regionales obtenidos a partir de siete estaciones meteorológicas (Figura 2, Tabla 2). Otro inconveniente encontrado al analizar los datos meteorológicos fue que las fuentes de información para una misma estación meteorológica no siempre son coherentes entre sí. Hubiese sido deseado contar con una mayor cantidad de estaciones meteorológicas próximas a la zona de estudio. Además, la calidad de la información meteorológica utilizada puede ser una limitante en este tipo de análisis, se debería asegurar que la información que proveen los servicios nacionales sea la más exacta posible y que los errores en la información sean mínimos, ya que constituyen la base para diversos estudios científicos. Por otro lado, si bien trabajos previos (Villalba 1990; Lara et al. 2001) han utilizado estaciones meteorológicas lejanas a la zona de estudio y han logrado realizar reconstrucciones, en estos casos el promedio regional obtenido resultó ser representativo del área de estudio. En cambio, en la zona del Lago del Desierto, posiblemente por las particularidades en su ubicación y sus características geográficas, el promedio regional de las estaciones meteorológicas lejanas no resulta representativo para el sitio (Anexo). Contar con un mayor número de estaciones meteorológicas cercanas al sitio de muestreo podría permitir, en un futuro, llevar a cabo una reconstrucción.

Si bien se registraron correlaciones significativas entre las especies y los distintos factores climáticos, estas relaciones no fueron estables en el tiempo (Figura 10), imposibilitando la reconstrucción de dichas variables (temperatura y AAO). Esto impide la realización de una calibración cruzada que permita establecer el grado de asociación entre las cronologías de los anillos de los árboles y la variación climática. Suarez et al. (2015), en un trabajo

sobre la especie *N. dombeyi* en el Parque Nacional Nahuel Huapi, Argentina, también obtuvieron inestabilidades en la relación clima-crecimiento. Al igual que en el presente trabajo, durante los meses de septiembre-octubre la relación entre la temperatura y el crecimiento del ancho de los anillos tanto de *N. dombeyi* como de *N. pumilio* varía. Los coeficientes de correlación son bajos y disminuyen, aproximadamente, a partir de 1980, en ambos casos (Suarez et al. 2015). Recientemente, se ha documentado que cambios climáticos durante las últimas décadas pueden producir una inestabilidad temporal en la relación clima-crecimiento (Suarez et al. 2015), lo cual, en este caso, ocurre para la temperatura a partir de 1995. Para la precipitación, en cambio, donde se utilizaron sólo dos estaciones, pero que se encontraban a una corta distancia del sitio de muestreo, los datos de ancho de anillos correlacionaron mejor con dicha variable. En los resultados se obtuvieron correlaciones significativas en el tiempo con el índice de ancho de anillos de *N. betuloides*. Sin embargo, al ser la serie de precipitación demasiado corta (23 datos) no se pudo realizar una reconstrucción. Es posible que más adelante, contando con mayor cantidad de datos, se pueda lograr, en la zona, una reconstrucción de la precipitación. Además, otra posibilidad sería lograr contar con una mayor cantidad de muestras de *N. pumilio* y *N. betuloides* de manera que las correlaciones con las variables climáticas sean más fuertes.

Los resultados obtenidos permiten aceptar parcialmente la primer hipótesis: “*Debido a que ambas especies presentan diferencias en el tiempo de permanencia de sus hojas, N. pumilio (caducifolio) y N. betuloides (perennifolio), los patrones de crecimiento son diferentes*”, ya que esto se demuestra en el análisis de las cronologías estándar de las especies. En cambio, la segunda hipótesis: “*El crecimiento radial de N. pumilio y N. betuloides en el Lago del Desierto se encuentra asociado a la variabilidad climática local y a la AAO, ya que ambas especies demostraron presentar vínculos significativos con la variación de la temperatura, precipitación y AAO en otros sitios dentro de su rango de*

distribución. Por lo tanto, ambas especies son adecuadas para reconstruir dichas variables, en la zona del Lago del Desierto, Santa Cruz, Argentina”, es parcialmente rechazada. Por un lado, *N. pumilio* no se encuentra asociada, de manera estable, a la variabilidad climática local y al índice AAO por lo que no es posible utilizarla como especie para realizar reconstrucciones climáticas en el Lago del Desierto. Sin embargo, *N. betuloides* sí es una especie potencial para la realización de una reconstrucción de la precipitación en el Lago del Desierto; si se lograra contar con un mayor número de datos meteorológicos.

Conclusiones

Este estudio aporta las primeras cronologías de *N. pumilio* y *N. betuloides* pertenecientes a la zona del Lago del Desierto, Patagonia argentina. Se analizaron sus crecimientos y sus relaciones con las variaciones climáticas, lo cual no se había realizado previamente en el área. El análisis de *N. betuloides* es de especial importancia debido a los pocos trabajos dendrocronológicos que existen sobre esta especie.

El crecimiento de *N. pumilio* en la área de estudio está influenciado por la temperatura, muy probablemente inducido por cambios en la AAO, mientras que el de *N. betuloides* está relacionado, principalmente, a las precipitaciones. En el caso de la precipitación, en un futuro, al lograr contar con un mayor número de datos meteorológicos se podría llegar a realizar una reconstrucción con el índice de ancho de anillo de *N. betuloides*. Por otro lado, si bien los resultados obtenidos muestran relaciones entre las cronologías de *N. pumilio* y las variables climáticas, AAO y temperatura, estas no fueron estables en el tiempo. Esta limitante, entre otras, impide la reconstrucción de la temperatura y del índice de la AAO. La necesidad de contar con datos meteorológicos cercanos a la zona de estudio es de gran importancia. Otra posibilidad sería recolectar un mayor número de muestras para reforzar las relaciones clima-crecimiento. Teniendo en cuenta el aumento continuo de la temperatura global en los últimos años, esto redundaría en un gran

beneficio para estudios similares al presentado en esta tesis como así también para otros estudios científicos relacionados al clima.

Bibliografía

- Álvarez, C., T. Veblen, D. Christie, y A. González-Reyes. 2015. «Relationships between Climate Variability and Radial Growth of *Nothofagus Pumilio* near Altitudinal Treeline in the Andes of Northern Patagonia, Chile». *Forest Ecology and Management* 342 (abril): 112-21. doi:10.1016/j.foreco.2015.01.018.
- Boninsegna, J., J. Keegan, G. Jacoby, R. D'Arrigo, y R.L. Holmes. 1989. «Dendrochronological studies in Tierra del Fuego, Argentina». *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 7 (3): 1.
- Boninsegna, J.A., J. Argollo, J.C. Aravena, J. Barichivich, D. Christie, M.E. Ferrero, A. Lara, et al. 2009. «Dendroclimatological Reconstructions in South America: A Review». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4): 210-28. doi:10.1016/j.palaeo.2009.07.020.
- Boninsegna, J.A., y R. Holmes. 1985. «*Fitzroya cupressoides* yields 1534-year long South American chronology». *Tree-Ring Bulletin*.
<https://arizona.openrepository.com/arizona/handle/10150/261336>.
- Borgel, R. 1991. «La Laguna del Desierto y su proyección geográfica en los problemas de límites con Argentina». *Revista de Geografía Norte Grande* 18: 19–26.
- Briffa, K.R., y P.D. Jones. 1990. «Basic chronology statistics and assessment».
- Briffa, K.R., P.D. Jones, y F.H. Schweingruber. 1992. «Tree-ring density reconstructions of summer temperature patterns across western North America since 1600». *Journal of Climate* 5 (7): 735-54.
- Cabrera, Angel Lulio. 1976. *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería: regiones fitogeográficas Argentinas*. Acme.
- Casteller, A., R. Villalba, D. Araneo, y V. Stöckli. 2011. «Reconstructing Temporal Patterns of Snow Avalanches at Lago Del Desierto, southern Patagonian Andes». *Cold Regions Science and Technology* 67 (1-2): 68-78. doi:10.1016/j.coldregions.2011.02.001.
- CIEFAP, y MAYDS. 2016. «Actualización de la Clasificación de Tipos Forestales y Cobertura del Suelo de la Región Bosque Andino Patagónico. Informe Final. CIEFAP.» <https://drive.google.com/open?id=0BxfNQutfxxeaUHNcQm9IYmk5RnM>.
- Cook, E.R. 1985. *A time series analysis approach to tree-ring standardization*. PH.D. Dissertation. University of Arizona, Tucson.
- Fritts, H.C. 1971. «Dendroclimatology and dendroecology». *Quaternary Research* 1 (4): 419-49.
- . 1976. *Tree rings and climate*. London ; New York: Academic Press.
- Garreaud, R.D., M. Vuille, R. Compagnucci, y J. Marengo. 2009. «Present-Day South American Climate». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4): 180-95. doi:10.1016/j.palaeo.2007.10.032.
- George, S.S., y T. Ault. 2014. «The Imprint of Climate within Northern Hemisphere Trees». *Quaternary Science Reviews* 89 (abril): 1-4. doi:10.1016/j.quascirev.2014.01.007.
- Gillett, N.P., T.D. Kell, y P.D. Jones. 2006. «Regional Climate Impacts of the Southern Annular Mode». *Geophysical Research Letters* 33 (23). doi:10.1029/2006GL027721.
- Givnish, T. J. 2002. «Adaptive significance of evergreen vs. deciduous leaves: solving the triple paradox». *Silva Fennica* 36 (3): 703–743.
- Gong, D., y S. Wang. 1999. «Definition of Antarctic oscillation index». *Geophysical research letters* 26 (4): 459-62.
- Guerrido, C.M. 2014. «Respuestas del bosque patagónico a inundaciones recurrentes provocadas por los endicamientos del Glaciar Perito Moreno, Santa Cruz, Argentina». UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE. Centro Regional Universitario Bariloche.

- Gutiérrez, E., V. Vallejo, J. Romaña, y J. Fons. 1991. «The subantarctic Nothofagus forests of Tierra del Fuego: distribution, structure and production». *Homage to Ramon Margalef, Or, Why There is Such Pleasure in Studying Nature* 8: 351-66.
- Hadad, M.A., F.A. Roig Juñent, J.A. Boninsegna, y D. Patón. 2015. «Age Effects on the Climatic Signal in Araucaria Araucana from Xeric Sites in Patagonia, Argentina». *Plant Ecology & Diversity* 8 (3): 343-51. doi:10.1080/17550874.2014.980350.
- Holmes, R.L. 1983. «Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement». *Tree-ring bulletin* 43 (1): 69-78.
- . 1999. «Dendrochronology Program Library (DPL). Use Manual by Laboratory of Tree-Ring Research».
- Jara Llanabure, J.C. 2011. «Relaciones entre el crecimiento de Nothofagus betuloides y el clima local y de gran escala en bosques subantárticos de la Isla Navarino». *Undergraduate thesis, Universidad Austral de Chile, Valdivia*. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/fifl791r/doc/fifl791r.pdf>.
- Kitzberger, T., T.T. Veblen, y R. Villalba. 2000. «Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica». En *Dendrocronología en América Latina*, editado por F.A. Roig, 1. ed. Serie Manuales, no. 29. Mendoza, Argentina: EDIUNC.
- Lara, A., J. Aravena, y R. Villalba. 1994. «Alerces, testigos milenarios del clima planetario». *Ambiente y Desarrollo* 10 (4): 71–78.
- Lara, A., J.C. Aravena, R. Villalba, A. Wolodarsky-Franke, B. Luckman, y R. Wilson. 2001. «Dendroclimatology of high-elevation Nothofagus pumilio forests at their northern distribution limit in the central Andes of Chile». *Canadian Journal of Forest Research* 31 (6): 925-36. doi:10.1139/cjfr-31-6-925.
- Lara, A., R. Villalba, A. Wolodarsky-Franke, J.C. Aravena, B.H. Luckman, y E. Cuq. 2005. «Spatial and Temporal Variation in Nothofagus Pumilio Growth at Tree Line along Its Latitudinal Range (35°40'-55°S) in the Chilean Andes: Nothofagus Pumilio Growth at Tree Line». *Journal of Biogeography* 32 (5): 879-93. doi:10.1111/j.1365-2699.2005.01191.x.
- López Callejas, L. 2011. «Una aproximación dendrocronológica a la ecología y el manejo de los bosques tropicales secos del cerrado boliviano». Bariloche, Argentina: Universidad Nacional del Comahue.
- Luckman, B.H., y T.A. Innes. 1991. «Dendrochronology in Canada». *Dendrochronologia* 9: 9-33.
- Martinelli, N. 2004. «Climate from Dendrochronology: Latest Developments and Results». *Global and Planetary Change* 40 (1-2): 129-39. doi:10.1016/S0921-8181(03)00103-6.
- Masiokas, M., y R. Villalba. 2004. «Climatic Significance of Intra-Annual Bands in the Wood of Nothofagus Pumilio in Southern Patagonia». *Trees* 18 (6): 696-704. doi:10.1007/s00468-004-0355-6.
- Masiokas, M.H., B.H. Luckman, R. Villalba, S. Delgado, P. Skvarca, y A. Ripalta. 2009. «Little Ice Age Fluctuations of Small Glaciers in the Monte Fitz Roy and Lago Del Desierto Areas, South Patagonian Andes, Argentina». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4): 351-62. doi:10.1016/j.palaeo.2007.10.031.
- Mundo, I.A., V.A. El Mujtar, M.H. Perdomo, L.A. Gallo, R. Villalba, y M.D. Barrera. 2010. «Austrocedrus Chilensis Growth Decline in Relation to Drought Events in Northern Patagonia, Argentina». *Trees* 24 (3): 561-70. doi:10.1007/s00468-010-0427-8.
- Mundo, I.A., F.A. Roig Juñent, R. Villalba, T. Kitzberger, y M.D. Barrera. 2012. «Araucaria Araucana Tree-Ring Chronologies in Argentina: Spatial Growth Variations and Climate Influences». *Trees* 26 (2): 443-58. doi:10.1007/s00468-011-0605-3.

- NOAA. 2017. «Mean cofecha by species». <https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/treering/measurements/correlation-stats/0mean-cofecha-by-species.txt>.
- Panigatti, J.L. 2010. «Argentina: 200 años, 200 suelos.» 9871623852. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires (Argentina). <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-200-suelos.pdf>.
- Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van der Linden, y C.E. Hanson. 2013. «IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change], 2014: Climate Change (AR5): Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change». *Cambridge University Press, Cambridge*. http://www.academia.edu/download/40796310/CONCLUSIONES_DEL_LIBRO.pdf.
- Pintore, E.J. 2012. «La traza del límite de la Republica Argentina con la Republica de Chile entre el hito 62 y el Monte Fitz Roy: la cuestión Lago del Desierto». *RECORDIP 2 (2)*. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/recordip/article/view/3037>.
- Popa, I., y O. Bouriaud. 2014. «Reconstruction of Summer Temperatures in Eastern Carpathian Mountains (Rodna Mts, Romania) back to AD 1460 from Tree-Rings: RECONSTRUCTION OF SUMMER TEMPERATURES IN EASTERN CARPATHIANS». *International Journal of Climatology* 34 (3): 871-80. doi:10.1002/joc.3730.
- Promis, A., G. Cruz, A. Reif, y S. Gärtner. 2008. «Bosques de Nothofagus Betuloides (Mirb.) Oerst. 1871 (Fagales: Nothofagaceae) en la Patagonia Austral y Tierra del Fuego. Nothofagus Betuloides (Mirb.) Oerst. 1871 (Fagales: Nothofagaceae) Forests in Southern Patagonia and Tierra del Fuego.» En *Anales del Instituto de la Patagonia*, 36:53–67. <http://analesdelinstitutodelapatagonia.cl/index.php/analespatagonia/article/download/344/350>.
- R Core Team. 2015. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Rivera, A. 2004. «Mass balance investigations at Glaciar Chico, Southern Patagonia Icefield, Chile».
- Rodionov, S.N. 2004. «A Sequential Algorithm for Testing Climate Regime Shifts: Algorithm for Testing Regime Shifts». *Geophysical Research Letters* 31 (9): n/a-n/a. doi:10.1029/2004GL019448.
- . 2006. «Use of Prewhitening in Climate Regime Shift Detection». *Geophysical Research Letters* 33 (12). doi:10.1029/2006GL025904.
- Roig, F.A., y J.A. Boninsegna. 1991. «Desarrollo de Pilgerodendron uviferum». *Revista Chilena de Historia Natural* 64: 53–63.
- Roig, F.A., y R. Villalba. 2008. «Understanding climate from Patagonian tree rings». *Developments in Quaternary Sciences* 11: 411–435.
- Rosenblüth, B., G. Casassa, y H. Fuenzalida. 1995. «Recent climatic changes in western Patagonia». *Bulletin of Glacier Research*, n.º 13: 127-32.
- Rosenblüth, B., H. Fuenzalida, y P.F. Aceituno. 1997. «Recent temperature variations in southern South America». <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/126143>.
- Schmelter, A. 2000. «Climatic response and growth-trends of Nothofagus pumilio along altitudinal gradients from arid to humid sites in northern Patagonia - A progress report». En *Dendrocronología en América Latina*, editado por F.A. Roig, 1. ed. Serie Manuales, no. 29. Mendoza, Argentina: EDIUNC.
- Schulman, E. 1956. *Dendroclimatic changes in semiarid America*. Accessed from <http://nla.gov.au/nla.cat-vn826794>. Tucson: University of Arizona Press.

- Schweingruber, F.H., O.U. Braker, y E. Schär. 1979. «Dendroclimatic studies on conifers from central Europe and Great Britain». *Boreas* 8 (4): 427–452.
- Srur, A.M., R. Villalba, P.E. Villagra, y D. Hertel. 2008. «Influencias de las variaciones en el clima y en la concentración de CO₂ sobre el crecimiento de *Nothofagus pumilio* en la Patagonia». *Revista chilena de historia natural* 81 (2): 239–256.
- Stokes, M.A., y T.L. Smiley. 1968. *An introduction to tree-ring dating*. Tucson: University of Arizona Press.
- Suarez, M.L., R. Villalba, I.A. Mundo, y N. Schroeder. 2015. «Sensitivity of *Nothofagus Dombeyi* Tree Growth to Climate Changes along a Precipitation Gradient in Northern Patagonia, Argentina». *Trees* 29 (4): 1053-67. doi:10.1007/s00468-015-1184-5.
- Szeicz, J.M. 1997. «Growth trends and climatic sensitivity of trees in the North Patagonian rain forest of Chile». *Canadian journal of forest research* 27 (7): 1003–1014.
- Tortorelli, L.A. 1956. «Maderas y bosques argentinos».
- Veblen, Thomas T, Robert S Hill, y Jennifer Read. 1996. *The ecology and biogeography of Nothofagus forests*. Yale University Press.
- Villalba, R. 1990. «Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1000 years as inferred from tree-ring records». *Quaternary Research* 34 (3): 346–360.
- . 2007. «Tree-ring evidence for tropical-extratropical influences on climate variability along the Andes in South America». *PAGES news* 15 (2): 23-25.
- Villalba, R., E. R. Cook, R. D. D'arrigo, G. C. Jacoby, P. D. Jones, M. J. Salinger, y J. Palmer. 1997. «Sea-level pressure variability around Antarctica since AD 1750 inferred from subantarctic tree-ring records». *Climate Dynamics* 13 (6): 375–390.
- Villalba, R., A. Lara, J.A. Boninsegna, M. Masiokas, S. Delgado, J.C. Aravena, F.A. Roig, A. Schmelter, A. Wolodarsky, y A. Ripalta. 2003. «Large-scale temperature changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years». En *Climate Variability and Change in High Elevation Regions: Past, Present & Future*, 177–232. Springer.
http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-015-1252-7_10.
- Villalba, R., A. Lara, M.H. Masiokas, R. Urrutia, B.H. Luckman, G.J. Marshall, I.A. Mundo, et al. 2012. «Unusual Southern Hemisphere tree growth patterns induced by changes in the Southern Annular Mode». *Nature Geoscience* 5 (11): 793-98. doi:10.1038/ngeo1613.
- Villalba, R., M.H. Masiokas, T. Kitzberger, y J.A. Boninsegna. 2005. «Biogeographical consequences of recent climate changes in the southern Andes of Argentina». En *Global Change and Mountain Regions*, 157–166. Springer.
http://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-3508-X_16.
- Wigley, T., K.R. Briffa, y P.D. Jones. 1984. «On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology». *Journal of climate and Applied Meteorology* 23 (2): 201-13.

Anexo

Temperatura

Tabla 5: Estaciones meteorológicas disponibles para el estudio, su fuente de origen y el país de localización.

Estación	Fuente	País
Lago Argentino	Servicio Meteorológico Nacional	Argentina
Balmaceda	Dirección Meteorológica de Chile	Chile
Calafate 2	Base de Datos Hidrológica Integrada	Argentina
Calafate 1	Servicio Meteorológico Nacional	Argentina
San Julián	Servicio Meteorológico Nacional	Argentina
Comodoro Rivadavia	NASA	Argentina
Punta Arenas	Dirección Meteorológica de Chile	Chile
Rio Gallegos	Servicio Meteorológico Nacional	Argentina

Tabla 6: Tablas de correlación entre las estaciones meteorológicas disponibles para la temperatura de verano. En rojo se señalan las relaciones significativas ($\geq 0,7$).

	Lago Argentino	Balmaceda	Calafate 2	Calafate 1	San Julián	Comodoro Rivadavia	Punta Arenas	Rio Gallegos
Lago Argentino	1,000	0,842	0,187	NA	0,742	0,647	0,868	0,825
Balmaceda	0,842	1,000	0,401	0,878	0,690	0,701	0,758	0,773
Calafate 2	0,187	0,401	1,000	0,904	0,436	0,380	0,772	0,593
Calafate 1	NA	0,878	0,904	1,000	0,523	0,398	0,779	0,767
San Julián	0,742	0,690	0,436	0,523	1,000	0,859	0,681	0,840
Comodoro Rivadavia	0,647	0,701	0,380	0,398	0,859	1,000	0,564	0,651
Punta Arenas	0,868	0,758	0,772	0,779	0,681	0,564	1,000	0,891
Rio Gallegos	0,825	0,773	0,593	0,767	0,840	0,651	0,891	1,000

Tabla 7: Tablas de correlación entre las estaciones meteorológicas disponibles para la temperatura de otoño. En rojo se señalan las relaciones significativas ($\geq 0,7$).

	Lago Argentino	Balmaceda	Calafate 2	Calafate 1	San Julián	Comodoro Rivadavia	Punta Arenas	Rio Gallegos
Lago Argentino	1,000	0,682	0,531	NA	0,812	0,693	0,814	0,861
Balmaceda	0,682	1,000	0,001	0,790	0,697	0,684	0,583	0,682
Calafate 2	0,531	0,001	1,000	0,838	0,475	0,538	0,713	0,391
Calafate 1	NA	0,790	0,838	1,000	0,874	0,881	0,553	0,843
San Julián	0,812	0,697	0,475	0,874	1,000	0,874	0,768	0,892
Comodoro Rivadavia	0,693	0,684	0,538	0,881	0,874	1,000	0,632	0,745
Punta Arenas	0,814	0,583	0,713	0,553	0,768	0,632	1,000	0,889
Rio Gallegos	0,861	0,682	0,391	0,843	0,892	0,745	0,889	1,000

Tabla 8: Tablas de correlación entre las estaciones meteorológicas disponibles para la temperatura de invierno. En rojo se señalan las relaciones significativas ($\geq 0,7$).

	Lago Argentino	Balmaceda	Calafate 2	Calafate 1	San Julián	Comodoro Rivadavia	Punta Arenas	Rio Gallegos
Lago Argentino	1,000	0,819	0,774	NA	0,931	0,869	0,834	0,899
Balmaceda	0,819	1,000	0,522	0,629	0,837	0,870	0,731	0,835
Calafate 2	0,774	0,522	1,000	0,883	0,741	0,694	0,783	0,725
Calafate 1	NA	0,629	0,883	1,000	0,876	0,807	0,461	0,910
San Julián	0,931	0,837	0,741	0,876	1,000	0,944	0,816	0,935
Comodoro Rivadavia	0,869	0,870	0,694	0,807	0,944	1,000	0,783	0,885
Punta Arenas	0,834	0,731	0,783	0,461	0,816	0,783	1,000	0,874
Rio Gallegos	0,899	0,835	0,725	0,910	0,935	0,885	0,874	1,000

Tabla 9: Tablas de correlación entre las estaciones meteorológicas disponibles para la temperatura de primavera. En rojo se señalan las relaciones significativas ($\geq 0,7$).

	Lago Argentino	Balmaceda	Calafate 2	Calafate 1	San Julián	Comodoro Rivadavia	Punta Arenas	Rio Gallegos
Lago Argentino	1,000	0,706	0,554	NA	0,806	0,732	0,800	0,828
Balmaceda	0,706	1,000	0,457	0,850	0,672	0,680	0,754	0,677
Calafate 2	0,554	0,457	1,000	0,736	0,275	0,287	0,604	0,355
Calafate 1	NA	0,850	0,736	1,000	0,697	0,621	0,678	0,873
San Julián	0,806	0,672	0,275	0,697	1,000	0,882	0,747	0,828
Comodoro Rivadavia	0,732	0,680	0,287	0,621	0,882	1,000	0,658	0,709
Punta Arenas	0,800	0,754	0,604	0,678	0,747	0,658	1,000	0,820
Rio Gallegos	0,828	0,677	0,355	0,873	0,828	0,709	0,820	1,000

Tabla 10: Tablas de correlación entre las estaciones meteorológicas disponibles para la temperatura anual. En rojo se señalan las relaciones significativas ($\geq 0,7$).

	Lago Argentino	Balmaceda	Calafate 2	Calafate 1	San Julián	Comodoro Rivadavia	Punta Arenas	Rio Gallegos
Lago Argentino	1,000	0,840	0,454	NA	0,864	0,817	0,787	0,872
Balmaceda	0,840	1,000	0,051	0,851	0,734	0,764	0,702	0,819
Calafate 2	0,454	0,051	1,000	0,886	0,289	0,364	0,647	0,221
Calafate 1	NA	0,851	0,886	1,000	0,810	0,807	0,418	0,875
San Julián	0,864	0,734	0,289	0,810	1,000	0,907	0,734	0,934
Comodoro Rivadavia	0,817	0,764	0,364	0,807	0,907	1,000	0,718	0,873
Punta Arenas	0,787	0,702	0,647	0,418	0,734	0,718	1,000	0,798
Rio Gallegos	0,872	0,819	0,221	0,875	0,934	0,873	0,798	1,000

Precipitación

Tabla 11: Estaciones meteorológicas disponibles para el estudio, su fuente de origen y el país de localización.

Estación	Fuente	País
Calafate	Subsecretaría de Recursos Hídricos	Argentina
Lago Argentino	Servicio Meteorológico Nacional	Argentina
Balmaceda	Dirección Meteorológica de Chile	Chile
Río las Vueltas	Subsecretaría de Recursos Hídricos	Argentina
Chile Chico	Dirección Meteorológica de Chile	Chile
Cochrane	Dirección Meteorológica de Chile	Chile
Estancia Entre Ríos	Subsecretaría de Recursos Hídricos	Argentina
La Leona	Subsecretaría de Recursos Hídricos	Argentina
Charles Fuhr	Subsecretaría de Recursos Hídricos	Argentina
Gobernador Gregores	Servicio Meteorológico Nacional	Argentina
Parque Glaciares	Subsecretaría de Recursos Hídricos	Argentina
Río Gallegos	Servicio Meteorológico Nacional	Argentina
Punta Arenas 1	Dirección General de Aguas	Chile
Punta Arenas 2	Dirección Meteorológica de Chile	Chile

Tabla 12: Tablas de correlación entre las estaciones meteorológicas disponibles para la precipitación de verano. En rojo se señalan las relaciones significativas ($\geq 0,7$).

	Calafate	Lago Argentino	Balmaceda	Rio las Vueltas	Chile Chico	Cochrane	Estancia Entre Ríos	La Leona
Calafate	1,000	0,553	0,272	0,527	-0,089	-0,061	-0,169	-0,267
Lago Argentino	0,553	1,000	0,058	0,680	-0,098	-0,184	-0,155	-0,153
Balmaceda	0,272	0,058	1,000	0,160	-0,141	-0,241	-0,105	-0,231
Río las Vueltas	0,527	0,680	0,160	1,000	-0,282	0,151	-0,245	-0,219
Chile Chico	-0,089	-0,098	-0,141	-0,282	1,000	0,536	0,374	-0,007
Cochrane	-0,061	-0,184	-0,241	0,151	0,536	1,000	0,691	0,237
Estancia Entre Ríos	-0,169	-0,155	-0,105	-0,245	0,374	0,691	1,000	0,438
La Leona	-0,267	-0,153	-0,231	-0,219	-0,007	0,237	0,438	1,000
Charles Fuhr	-0,456	-0,480	0,108	-0,612	0,198	0,055	0,205	0,378
Gobernador Gregores	-0,181	-0,123	0,043	-0,128	-0,234	-0,315	-0,218	0,237
Parque Glaciares	-0,192	0,021	-0,200	-0,271	0,206	0,596	0,931	0,504
Rio Gallegos	-0,369	0,014	0,072	-0,029	-0,244	-0,167	-0,067	-0,087
Punta Arenas 1	-0,172	-0,037	-0,095	0,195	0,257	0,274	0,060	0,300
Punta Arenas 2	-0,225	0,020	-0,174	0,278	0,280	0,312	0,161	0,331

Tabla 13: Continuación de la Tabla 12.

	Charles Fuhr	Gobernador Gregores	Parque Glaciares	Rio Gallegos	Punta Arenas 1	Punta Arenas 2
Calafate	-0,456	-0,181	-0,192	-0,369	-0,172	-0,225
Lago Argentino	-0,480	-0,123	0,021	0,014	-0,037	0,020
Balmaceda	0,108	0,043	-0,200	0,072	-0,095	-0,174
Río las Vueltas	-0,612	-0,128	-0,271	-0,029	0,195	0,278
Chile Chico	0,198	-0,234	0,206	-0,244	0,257	0,280
Cochrane	0,055	-0,315	0,596	-0,167	0,274	0,312
Estancia Entre Ríos	0,205	-0,218	0,931	-0,067	0,060	0,161
La Leona	0,378	0,237	0,504	-0,087	0,300	0,331
Charles Fuhr	1,000	0,037	0,194	-0,074	-0,067	-0,218
Gobernador Gregores	0,037	1,000	-0,145	0,367	0,287	0,196
Parque Glaciares	0,194	-0,145	1,000	-0,188	0,072	0,249
Rio Gallegos	-0,074	0,367	-0,188	1,000	0,412	0,367
Punta Arenas 1	-0,067	0,287	0,072	0,412	1,000	0,821
Punta Arenas 2	-0,218	0,196	0,249	0,367	0,821	1,000

Tabla 14: Tablas de correlación entre las estaciones meteorológicas disponibles para la precipitación de otoño. En rojo se señalan las relaciones significativas ($\geq 0,7$).

	Calafate	Lago Argentino	Balmaceda	Rio las Vueltas	Chile Chico	Cochrane	Estancia Entre Ríos	La Leona
Calafate	1,000	0,684	0,069	0,556	0,680	0,222	0,363	0,877
Lago Argentino	0,684	1,000	0,023	0,293	0,343	0,527	0,162	0,747
Balmaceda	0,069	0,023	1,000	0,221	-0,003	-0,049	0,395	-0,067
Río las Vueltas	0,556	0,293	0,221	1,000	0,330	0,148	0,256	0,500
Chile Chico	0,680	0,343	-0,003	0,330	1,000	0,371	0,300	0,729
Cochrane	0,222	0,527	-0,049	0,148	0,371	1,000	0,471	0,334
Estancia Entre Ríos	0,363	0,162	0,395	0,256	0,300	0,471	1,000	0,389
La Leona	0,877	0,747	-0,067	0,500	0,729	0,334	0,389	1,000
Charles Fuhr	0,831	0,708	0,104	0,519	0,649	0,477	0,404	0,780
Gobernador Gregores	0,674	0,436	0,082	0,283	0,702	0,431	0,248	0,487
Parque Glaciares	0,207	0,294	-0,050	-0,004	0,344	0,382	0,858	0,137
Rio Gallegos	0,698	0,105	0,062	0,160	0,622	0,303	0,312	0,712
Punta Arenas 1	-0,045	0,336	0,265	-4116331438,61	0,147	-0,060	-0,007	-0,154
Punta Arenas 2	-0,127	0,210	0,036	-0,006	0,024	-0,003	-0,010	-0,118

Tabla 15: Continuación de la Tabla 14.

	Charles Fuhr	Gobernador Gregores	Parque Glaciares	Rio Gallegos	Punta Arenas 1	Punta Arenas 2
Calafate	0,831	0,674	0,207	0,698	-0,045	-0,127
Lago Argentino	0,708	0,436	0,294	0,105	0,336	0,210
Balmaceda	0,104	0,082	-0,050	0,062	0,265	0,036
Río las Vueltas	0,519	0,283	-0,004	0,160	-4116331438,618	-0,006
Chile Chico	0,649	0,702	0,344	0,622	0,147	0,024
Cochrane	0,477	0,431	0,382	0,303	-0,060	-0,003
Estancia Entre Ríos	0,404	0,248	0,858	0,312	-0,007	-0,010
La Leona	0,780	0,487	0,137	0,712	-0,154	-0,118
Charles Fuhr	1,000	0,549	0,259	0,535	-0,177	-0,256
Gobernador Gregores	0,549	1,000	0,316	0,497	-0,059	-0,115
Parque Glaciares	0,259	0,316	1,000	0,197	-0,066	-0,071
Rio Gallegos	0,535	0,497	0,197	1,000	0,240	0,390
Punta Arenas 1	-0,177	-0,059	-0,066	0,240	1,000	0,716
Punta Arenas 2	-0,256	-0,115	-0,071	0,390	0,716	1,000

Tabla 16: Tablas de correlación entre las estaciones meteorológicas disponibles para la precipitación de invierno. En rojo se señalan las relaciones significativas ($\geq 0,7$).

	Calafate	Lago Argentino	Balmaceda	Río las Vueltas	Chile Chico	Cochrane	Estancia Entre Ríos	La Leona
Calafate	1,000	0,223	0,131	0,203	-0,104	0,162	0,633	0,461
Lago Argentino	0,223	1,000	0,221	0,419	0,358	0,412	0,008	-0,159
Balmaceda	0,131	0,221	1,000	0,300	0,161	0,310	0,343	-0,226
Río las Vueltas	0,203	0,419	0,300	1,000	-0,094	0,440	0,316	-0,109
Chile Chico	-0,104	0,358	0,161	-0,094	1,000	0,114	-0,227	-0,400
Cochrane	0,162	0,412	0,310	0,440	0,114	1,000	0,348	-0,082
Estancia Entre Ríos	0,633	0,008	0,343	0,316	-0,227	0,348	1,000	0,103
La Leona	0,461	-0,159	-0,226	-0,109	-0,400	-0,082	0,103	1,000
Charles Fuhr	0,308	-0,053	-0,097	-0,120	-0,063	-0,409	0,333	0,425
Gobernador Gregores	-0,348	0,017	0,251	-0,084	0,242	-0,290	-0,087	-0,246
Parque Glaciares	0,260	0,137	0,408	0,516	-0,182	0,191	0,710	-0,067
Río Gallegos	0,217	0,215	-0,117	-0,124	0,254	-0,361	-0,156	0,312
Punta Arenas 1	0,548	0,340	0,016	0,195	0,278	0,128	0,380	0,385
Punta Arenas 2	0,271	0,238	-0,079	0,230	0,346	0,193	-0,036	0,264

Tabla 17: Continuación de la Tabla 16.

	Charles Fuhr	Gobernador Gregores	Parque Glaciares	Río Gallegos	Punta Arenas 1	Punta Arenas 2
Calafate	0,308	-0,348	0,260	0,217	0,548	0,271
Lago Argentino	-0,053	0,017	0,137	0,215	0,340	0,238
Balmaceda	-0,097	0,251	0,408	-0,117	0,016	-0,079
Río las Vueltas	-0,120	-0,084	0,516	-0,124	0,195	0,230
Chile Chico	-0,063	0,242	-0,182	0,254	0,278	0,346
Cochrane	-0,409	-0,290	0,191	-0,361	0,128	0,193
Estancia Entre Ríos	0,333	-0,087	0,710	-0,156	0,380	-0,036
La Leona	0,425	-0,246	-0,067	0,312	0,385	0,264
Charles Fuhr	1,000	0,122	0,083	0,347	0,430	0,258
Gobernador Gregores	0,122	1,000	0,119	0,032	-0,242	-0,242
Parque Glaciares	0,083	0,119	1,000	-0,197	0,375	0,118
Río Gallegos	0,347	0,032	-0,197	1,000	0,369	0,515
Punta Arenas 1	0,430	-0,242	0,375	0,369	1,000	0,864
Punta Arenas 2	0,258	-0,242	0,118	0,515	0,864	1,000

Tabla 18: Tablas de correlación entre las estaciones meteorológicas disponibles para la precipitación de primavera. En rojo se señalan las relaciones significativas ($\geq 0,7$).

	Calafate	Lago Argentino	Balmaceda	Río las Vueltas	Chile Chico	Cochrane	Estancia Entre Ríos	La Leona
Calafate	1,000	0,882	0,600	0,381	0,573	0,417	0,395	0,670
Lago Argentino	0,882	1,000	0,012	0,175	0,365	0,042	-0,160	0,578
Balmaceda	0,600	0,012	1,000	-0,112	0,237	0,217	0,186	0,497
Río las Vueltas	0,381	0,175	-0,112	1,000	-0,213	0,117	0,180	0,244
Chile Chico	0,573	0,365	0,237	-0,213	1,000	0,573	0,312	0,561
Cochrane	0,417	0,042	0,217	0,117	0,573	1,000	0,643	0,310
Estancia Entre Ríos	0,395	-0,160	0,186	0,180	0,312	0,643	1,000	0,202
La Leona	0,670	0,578	0,497	0,244	0,561	0,310	0,202	1,000
Charles Fuhr	0,536	0,311	0,315	0,140	0,367	0,201	0,322	0,636
Gobernador Gregores	0,405	0,788	0,141	0,009	0,051	-0,252	0,113	0,169
Parque Glaciares	0,387	0,040	0,121	0,230	0,239	0,587	0,893	0,184
Río Gallegos	0,414	0,239	0,158	0,035	0,406	0,035	0,272	0,508
Punta Arenas 1	0,582	0,152	0,273	0,201	0,183	-0,016	0,334	0,537
Punta Arenas 2	0,625	0,263	0,132	0,255	0,334	0,202	0,274	0,469

Tabla 19: Continuación de la Tabla 18.

	Charles Fuhr	Gobernador Gregores	Parque Glaciares	Río Gallegos	Punta Arenas 1	Punta Arenas 2
Calafate	0,536	0,405	0,387	0,414	0,582	0,625
Lago Argentino	0,311	0,788	0,040	0,239	0,152	0,263
Balmaceda	0,315	0,141	0,121	0,158	0,273	0,132
Río las Vueltas	0,140	0,009	0,230	0,035	0,201	0,255
Chile Chico	0,367	0,051	0,239	0,406	0,183	0,334
Cochrane	0,201	-0,252	0,587	0,035	-0,016	0,202
Estancia Entre Ríos	0,322	0,113	0,893	0,272	0,334	0,274
La Leona	0,636	0,169	0,184	0,508	0,537	0,469
Charles Fuhr	1,000	0,236	0,279	0,344	0,501	0,332
Gobernador Gregores	0,236	1,000	0,193	0,151	0,240	0,327
Parque Glaciares	0,279	0,193	1,000	0,334	0,165	0,215
Río Gallegos	0,344	0,151	0,334	1,000	0,587	0,521
Punta Arenas 1	0,501	0,240	0,165	0,587	1,000	0,670
Punta Arenas 2	0,332	0,327	0,215	0,521	0,670	1,000

Tabla 20: Tablas de correlación entre las estaciones meteorológicas disponibles para la temperatura anual. En rojo se señalan las relaciones significativas ($\geq 0,7$).

	Calafate	Lago Argentino	Balmaceda	Rio las Vueltas	Chile Chico	Cochrane	Estancia Entre Ríos	La Leona
Calafate	1,000	0,607	0,198	0,430	-0,018	0,119	0,248	0,781
Lago Argentino	0,607	1,000	0,198	0,371	0,296	0,306	-0,014	0,265
Balmaceda	0,198	0,198	1,000	0,281	0,153	-0,001	0,306	-0,020
Río las Vueltas	0,430	0,371	0,281	1,000	-0,093	0,361	0,014	0,202
Chile Chico	-0,018	0,296	0,153	-0,093	1,000	-0,069	0,056	-0,142
Cochrane	0,119	0,306	-0,001	0,361	-0,069	1,000	0,321	0,019
Estancia Entre Ríos	0,248	-0,014	0,306	0,014	0,056	0,321	1,000	0,160
La Leona	0,781	0,265	-0,020	0,202	-0,142	0,019	0,160	1,000
Charles Fuhr	0,429	-0,069	-0,151	-0,169	-0,129	-0,163	0,201	0,708
Gobernador Gregores	0,278	0,660	0,401	0,051	0,483	-0,127	0,106	0,228
Parque Glaciares	0,146	0,386	-0,055	0,068	0,066	0,146	0,705	0,217
Rio Gallegos	0,653	-0,076	-0,009	-0,162	-0,004	-0,037	0,448	0,645
Punta Arenas 1	0,492	0,181	0,077	0,207	0,182	0,064	0,380	0,240
Punta Arenas 2	0,211	0,112	-0,174	0,338	-0,026	0,259	0,319	0,289

Tabla 21: Continuación de la Tabla 20.

	Charles Fuhr	Gobernador Gregores	Parque Glaciares	Rio Gallegos	Punta Arenas 1	Punta Arenas 2
Calafate	0,429	0,278	0,146	0,653	0,492	0,211
Lago Argentino	-0,069	0,660	0,386	-0,076	0,181	0,112
Balmaceda	-0,151	0,401	-0,055	-0,009	0,077	-0,174
Río las Vueltas	-0,169	0,051	0,068	-0,162	0,207	0,338
Chile Chico	-0,129	0,483	0,066	-0,004	0,182	-0,026
Cochrane	-0,163	-0,127	0,146	-0,037	0,064	0,259
Estancia Entre Ríos	0,201	0,106	0,705	0,448	0,380	0,319
La Leona	0,708	0,228	0,217	0,645	0,240	0,289
Charles Fuhr	1,000	0,116	0,129	0,536	0,149	-0,133
Gobernador Gregores	0,116	1,000	0,269	0,378	0,213	0,468
Parque Glaciares	0,129	0,269	1,000	0,306	0,058	0,439
Rio Gallegos	0,536	0,378	0,306	1,000	0,403	0,458
Punta Arenas 1	0,149	0,213	0,058	0,403	1,000	0,574
Punta Arenas 2	-0,133	0,468	0,439	0,458	0,574	1,000