

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE FACULTAD DE AGRONOMÍA E ING. FORESTAL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES

"DESARROLLO DE UNA CRONOLOGÍA DE ANCHOS DE ANILLOS PARA ALERCE (Fitzroya cupressoides) Y RECONSTRUCCIÓN DE LA HISTORIA DE INCENDIOS EN EL ÁREA DE ABTAO, PARQUE NACIONAL CHILOÉ, X REGIÓN"

Proyecto de Título presentado como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal

Alumna: Rocío Beatriz Urrutia Jalabert

Profesor Guía: Antonio Lara Aguilar., Ing. Forestal, Ph. D. Profesor Co-guía: Juan Oltremari Arregui., Ing. Forestal, M. Sc.

SANTIAGO-CHILE 2002

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer muy especialmente a las siguientes personas e instituciones que hicieron posible la realización de este Proyecto de Título.

Al Dr. Antonio Lara Aguilar, profesor guía de este trabajo, por recibirme y acogerme tan cordialmente como estudiante tesista, a pesar de pertenecer a otra Casa de Estudios. Por brindarme un espacio dentro del Laboratorio de Dendrocronología en el Instituto de Silvicultura de la Universidad Austral de Chile, lugar donde fue desarrollado en su totalidad este estudio y por su inestimable ayuda y las enseñanzas que me proporcionó en el ámbito de los bosques nativos. Por último agradecerle el propiciar mi participación en los innumerables seminarios y cursos desarrollados al interior de la Universidad.

A mi profesor co-guía Don Juan Oltremari Arregui por animarme a realizar mi Proyecto de título en Valdivia, por los aportes realizados a este trabajo, por su constante preocupación y por brindarme siempre apoyo y buen consejo en los momentos en que lo necesitaba.

A Emilio Cuq por su excelente disposición a ayudarme en todo momento, por su incalculable ayuda en el trabajo de terreno y por las enseñanzas proporcionadas en relación al procesamiento de las muestras y al uso de los programas computacionales requeridos para llevar a cabo este estudio.

A Leonardo Tagle por la ayuda proporcionada en diversos aspectos de mi tesis. A Alexia Wolodarsky por su valiosa ayuda en la comprensión de los resultados y en la corrección del Summary de este Proyecto. A Eduardo Neira por su colaboración en la confección del mapa del sitio y por proporcionarme información proveniente del catastro.

Al equipo de trabajo del Laboratorio SIG de la Universidad Austral de Chile por su gran acogida y por brindarme su ayuda en los momentos requeridos.

Al Proyecto Fondecyt N°1000445 y al Proyecto IAI "Assessment of Present, Past and Future Climate Variability in the Americas from Treeline Environments" por el financiamiento del trabajo de terreno de este estudio.

Al Núcleo Científico Milenio FORECOS "Servicios Ecosistémicos del Bosque Nativo a Sistemas Acuáticos, bajo fluctuaciones climáticas" integrado por diversos investigadores de la Universidad Austral de Chile, por facilitarme la participación en

diversos seminarios que me permitieron adquirir nuevos e importantes conocimientos sobre el bosque nativo.

A CONAF Chiloé, en especial a Don Francisco Delgado, administrador del Parque Nacional Chiloé y a Don José Ríos, guardaparque de la zona de Abtao, por su valiosa ayuda proporcionada en el trabajo de terreno.

En especial a mi tía Gladys Jalabert por acogerme con tanto cariño y permitirme tener una excelente estadía en Valdivia durante el período de realización de mi Proyecto.

A mis amigas Marcela Varela, Paulina Navarro, Pamela Delgado, Pamela Ramírez y Paulina Quiroga, por estar siempre presentes a pesar de la distancia.

A Carla Firmani, Elke Huss y en especial a Pamela Moreno por su amistad y sus buenos consejos y muchas gracias a todas las personas que conocí dentro de la Facultad de Ciencias Forestales y que hicieron de mi estadía en Valdivia un período difícil de olvidar.

Finalmente y con mucho cariño a mis queridos padres y hermanos por su constante amor y por su invaluable apoyo en mis estudios y en la realización de este Proyecto.

1. INTRODUCCIÓN

La ciencia que se dedica a la reconstrucción de eventos pasados por medio del estudio y fechado de anillos de crecimiento, es la dendrocronología. A pesar del alto potencial que poseen ciertas especies arbóreas, como Alerce (*Fitzroya cupressoides* (Mol.) *Johnston*), para el desarrollo de esta disciplina científica, ésta se encuentra insuficientemente desarrollada en el país (Lara & Villalba 1994b).

La dendrocronología posee numerosas aplicaciones, entre las cuales se encuentran: la reconstrucción de variables climáticas asociadas al crecimiento de las especies, el fechado de cortas ilegales para el caso de especies protegidas y el fechado de incendios entre otras. Esta última aplicación resulta de fundamental importancia en el caso de especies como Alerce, la cual se ha visto sometida a reiterados incendios naturales y antrópicos, así como a explotación maderera, principalmente en la Cordillera de la Costa. Estas alteraciones han influido en la dinámica de esta especie, cuya regeneración se encuentra fuertemente asociada a grandes disturbios.

Alerce, especie declarada monumento natural en 1976, es una conífera endémica del sur de Chile y de áreas adyacentes de Argentina. En Chile se distribuye entre Corral y la Isla de Chiloé (39°50'S – 42°35'S) en la Cordillera de la Costa y entre el Cerro Puntiagudo y el Río Yelcho (41°S – 43°30'S) en la Cordillera de los Andes (Lara *et al.* 1999). Además es posible encontrarlo como pequeñas poblaciones en la Depresión Intermedia cerca de Puerto Montt (41°30'S; Fraver *et al.* 1999). Por último, está presente también en áreas adyacentes de Argentina (Figura 1). Esta especie se destaca por su tamaño y longevidad, alcanzando diámetros de hasta 5 metros, una altura de hasta 50 m, y pudiendo vivir más de 3600 años, lo que la constituye en la segunda especie más longeva sobre la tierra (Donoso 1981; Lara & Villalba 1993).

Alerce es una especie intolerante a la sombra que regenera por semillas y también en forma vegetativa, mediante brotes de raíces. Sin embargo la producción de semillas es esporádica, con un alto porcentaje de árboles que producen semilla no viable. En los Andes, en general, no existe regeneración bajo un dosel cerrado en bosques que no han sido sometidos a alteración, y el modo principal de regeneración es catastrófico,

colonizando después de disturbios de gran escala tales como deslizamientos de tierra y eventos volcánicos. En la Cordillera de la Costa, Alerce regenera después de incendios de baja intensidad y en ciertos casos después de cortas. En forma contraria, en los Andes la regeneración de Alerce no se produce en estos últimos casos. La diferencia se debe probablemente a la reducida competencia que existe por la baja disponibilidad de nutrientes en la Cordillera de la Costa, comparada con Los Andes (Lara *et al.* 1999).

Los sitios donde se desarrolla Alerce se caracterizan en general, por presentar un drenaje pobre y suelos con una baja fertilidad. Su desarrollo en este tipo de condiciones, en especial en la Cordillera de la Costa, restringe o excluye el desarrollo de otras especies arbóreas, permitiendo así la persistencia de la especie en el tiempo.

El régimen climático donde habita Alerce es del tipo templado oceánico lluvioso (Donoso 1981), caracterizándose por temperaturas moderadas, sin grandes oscilaciones y precipitaciones entre 4000 y 5000 mm, distribuidas en forma regular a lo largo del año, pero con una disminución en los meses de verano. Durante el período estival, las precipitaciones de la cordillera de los Andes casi duplican a las de la Cordillera de la Costa (701 mm y 395 mm respectivamente). Así también, las temperaturas bajo 0° C son más frecuentes en la Cordillera de los Andes, lo que hace que la precipitación nival sea mayor y que permanezca hasta la primavera. Lo anterior origina períodos vegetativos más cortos en la Cordillera de los Andes (Donoso 1993, Donoso et al. 1993, citados por Lara *et al.* 2000).

En la Cordillera de la Costa, Alerce se encuentra en rodales puros o mixtos con *Nothofagus nitida, Drimys winteri, Saxegothaea conspicua, y Podocarpus nubígena.* En la Cordillera de los Andes, la especie se asocia con *Nothofagus betuloides* a mayores altitudes, y con *Nothofagus nítida, Laureliopsis philippiana y Saxegothaea conspicua* en altitudes medias a bajas. En áreas de mal drenaje crece con *Pilgerodendron uvíferum* en la Cordillera de la Costa y en los Andes (Lara 1991; Donoso *et al.* 1993, citados por Lara *et al.* 1999). Debido a la variación en topografía, geología, y suelos a través de su distribución, Alerce se puede encontrar en una variedad de hábitats con elevaciones que van desde el nivel del mar hasta los 1200 msnm (Lara *et al.* 1999).

El tipo forestal Alerce, alcanza una superficie de 263.191,8 ha, representando el 2% de la superficie total de bosques en el país, encontrándose protegido bajo el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), en un 17.6% del total de dicha superficie (CONAF, 1999).

La madera de Alerce, de gran valor y durabilidad natural, ha motivado su explotación desde el siglo XVI, lo cual sumado a los incendios de origen antrópico, determinó la destrucción o alteración de extensas áreas cubiertas originalmente por bosques de esta especie. Esta alteración ha llevado a considerar esta especie como vulnerable o amenazada y a su protección por la ley en Chile y Argentina. Además está incluida en la lista de especies amenazadas de Estados Unidos y en el Apéndice I de CITES, lo cual restringe su exportación (Anónimo 1979; Lara & Aravena 1992, citados por Lara *et al.* 2000).

Las cumbres de la Cordillera de la Costa en Chile, en las latitudes donde Alerce se desarrolla, están caracterizadas por la presencia de rodales de esta especie dominados por árboles muertos en pie y blanquecinos. Las causas de esta mortalidad no han sido plenamente descifradas aún, señalándose los incendios o los cambios climáticos entre las posibles razones. Surge, de este modo, la pregunta de cuál es el rol que han jugado los incendios en la mortalidad del Alerce en la Cordillera de la Costa y cuál es la capacidad de esta conífera para regenerar después de estas alteraciones (Lara *et al.* 2000).

Dentro del marco anteriormente propuesto, este proyecto de título tiene como objetivo construir una cronología de ancho de anillos y reconstruir los incendios que han afectado a los bosques de Alerce situados en la zona cordillerana de Abtao, dentro del Parque Nacional Chiloé. El estudio propuesto contribuye de esta forma a complementar la cronología anteriormente desarrollada para Chiloé y aporta a la construcción de una red de cronologías de fuego para esta especie. Esta red sirve de base para futuras investigaciones que permitan conocer mejor la dinámica de los bosques de Alerce y descifrar la causa exacta de la presencia de grandes áreas de árboles muertos en pie a lo largo de la distribución de esta especie en la Cordillera de la Costa. Este estudio contribuye además, a aumentar el conocimiento que se requiere para la toma de decisiones en torno al manejo y la conservación de esta especie.

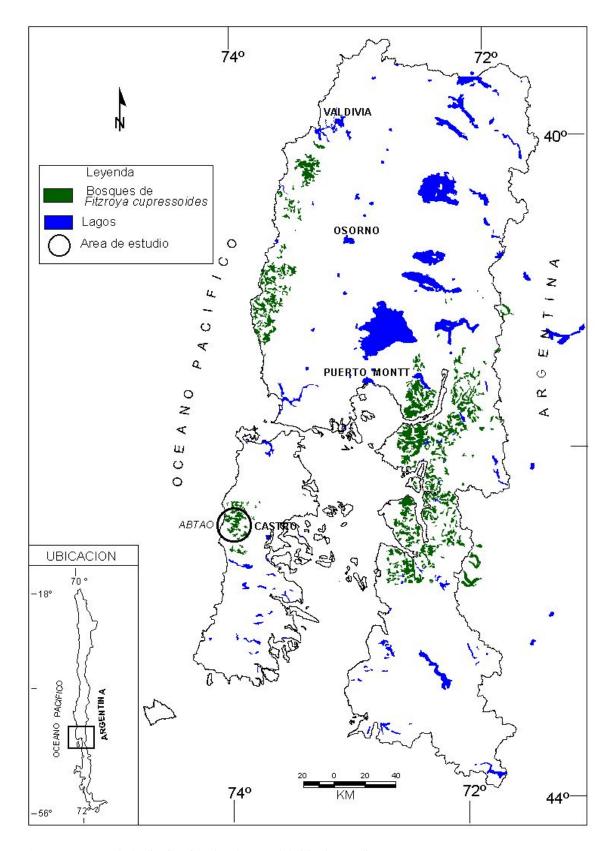


FIGURA 1: Mapa de la distribución de Alerce y del sitio de estudio

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos generales

Desarrollar una cronología de anchos de anillos para Alerce, en el área de Abtao,
 P.N. Chiloé, X región, e intentar una reconstrucción de incendios a partir de este registro.

2.2 Objetivos específicos

- Construir una cronología para la especie Alerce, que amplíe la ya existente para la Isla Grande, a partir de muestras ya colectadas en Abtao, Parque Nacional Chiloé.
- Realizar el fechado de los incendios que se han producido en la zona, a partir de muestras (Tarugos, cuñas y rodelas).
- Determinar la fecha del anillo más Interno (inner ring) y más externo (outermost ring) presente en los árboles utilizados para el desarrollo de la cronología, de forma de obtener una evidencia aproximada del año en que se produjo su establecimiento y su muerte y para analizar el grado de sincronía entre estos eventos.
- Comparar la cronología de incendios obtenida en este sitio, con otros estudios dendroecológicos realizados para Alerce en Chile.

3. RESEÑA HISTÓRICA DE LA DENDROCRONOLOGÍA EN CHILE Y ARGENTINA

Las primeras colecciones con fines dendrocronológicos en Chile las efectuó Patton, en 1943, quien colectó tarugos de incremento de Alerce en el área del volcán Hornopirén, al sudeste de Puerto Montt. Posteriormente, en 1949 y 1950 Schulman colectó muestras de Alerce, pero al igual que la colección efectuada en 1943, éstas no pudieron ser cofechadas. Las dificultades para cofechar las muestras de Alerce se deben principalmente a la presencia de grupos de anillos extremadamente angostos (microanillos) y a sectores de las muestras con muchos anillos ausentes, además de la ausencia de anillos marcadores claros en algunos sitios (Lara *et al.* 2000).

Schulman (1956), hizo un reconocimiento en Chile y Argentina colectando muestras de varias especies de coníferas, como Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*), Araucaria (*Araucaria araucana*) y Alerce (*Fitzroya cupressoides*), describiendo su potencial dendrocronológico.

Latorre (1973) realizó un estudio de potencialidad de Alerce para estudios dendrocronológicos, concluyendo que la sensibilidad de la especie, si bien no era alta, estaba dentro de los rangos de especies estudiadas en el mundo hasta ese momento, siendo éste el primer estudio realizado en Chile para Alerce en este tema. No obstante lo anterior, este trabajo no presentó cronologías para Alerce.

Entre 1974 y 1978 V.C. LaMarche y otros colaboradores del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona colectaron muestras en más de 50 sitios, y produjeron un total de 32 cronologías (21 en Argentina y 11 en Chile).

Los estudios dendrocronológicos son mucho más recientes en Chile que en Argentina, ya que mientras en Argentina la primera cronología fue lograda en 1956, las primeras cronologías para Chile se obtuvieron en 1975. Estas fueron utilizadas en la primera reconstrucción de las precipitaciones para la ciudad de Santiago basada en anillos de crecimiento de Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*), en su hábitat más septentrional (El asiento, Provincia de Aconcagua, LaMarche 1975).

Boninsegna (1988, citado por Neira & Lara 2000) reconstruyó la precipitación de invierno de Santiago usando una versión mejorada de la misma cronología desde el año 1200.

La primera cronología de anchos de anillos para Alerce fue desarrollada por Boninsegna y Holmes (1985), para la localidad de Río Cisne en Argentina, cuya longitud alcanzó los 1534 años.

Boninsegna *et al* en 1988 realizaron una reconstrucción climática en Tierra del Fuego, Argentina, a partir de muestras provenientes de las especies de *Nothofagus* que se extienden en dicha zona, donde concluyen que las cronologías desarrolladas presentaban grandes variaciones, útiles para la reconstrucción climática del hemisferio sur (Neira 1995).

Villalba *et al.* (1990), realizaron una reconstrucción de las fluctuaciones de los glaciares en el cerro Tronador en Argentina, a través de una cronología de 1128 años de longitud para Río Alerce. También presentaron una reconstrucción de paleotemperaturas de verano con una extensión de 1122 años.

Roig y Boninsegna (1990, citado por Díaz 1997) produjeron dos cronologías con muestras de *Pilgerodendron uvíferum* colectadas en la Isla Grande de Chiloé (Piuché) y en Palena (Santa Lucía) y realizaron la primera reconstrucción de precipitaciones de verano, de 426 años para esta especie.

El registro de temperaturas basado en anillos de crecimiento, más largo publicado hasta la fecha, es el estudio ejecutado por Lara & Villalba (1993) quienes reconstruyeron las temperaturas de verano para el sur de Sudamérica para los últimos 3622 años a partir de muestras de Alerce colectadas en Lenca, cerca de Puerto Montt. Esta investigación permitió desarrollar un modelo para estimar las temperaturas a partir de los anchos de anillos. Dichas estimaciones no mostraron evidencias de un calentamiento global durante las últimas décadas, lo cual se vio contrastado con otros estudios similares realizados, determinándose de esta forma, una real necesidad de desarrollar nuevas investigaciones para explicar los mecanismos de la variación espacial de las fluctuaciones de temperatura en el último tiempo (Lara & Villalba 1994 a).

Un estudio efectuado por Villalba *et al.* (1996, citado por Neira & Lara 2000) analizó los patrones espaciales, periodicidad de crecimiento y la variación climática usando una red conformada por siete cronologías de Alerce en Argentina y la cronología de Lenca en Chile. En forma posterior Lara *et al.* (2000) presentaron una red de 23 cronologías de Alerce en Chile y Argentina mostrando un alto grado de similitud en los patrones generales de crecimiento de las poblaciones estudiadas.

Finalmente, Wolodarsky-Franke (2002) logró desarrollar la cronología de Alerce más larga, en el área del volcán Apagado, alcanzando la longitud de 5666 años.

En la actualidad existen en Chile cuatro cronologías para Alerce en la Cordillera de la Costa, una para la depresión intermedia y diez para la Cordillera de los Andes. Las cronologías desarrolladas para la Cordillera de la Costa son: Pelada (40°09'S, 73°45'W, 2441 años), Mirador (40° 10'S, 73°42'W, 874 años), Pabilos (40° 55'S, 73°43'W, 1647 años) y Chiloé (42° 30'S, 73°55'W, 863 años) (Lara *et al.* 2000).

La mayor parte de las cronologías desarrolladas en Chile para Alerce y otras especies, han tenido como propósito realizar reconstrucciones climáticas. En relación a otro tipo de objetivos, como es la utilización de la dendrocronología para el conocimiento de la dinámica regenerativa de ciertas especies asociada a disturbios tales como incendios, Lara *et al.* (1999) utilizaron anillos de crecimiento de Alerce para fechar los incendios ocurridos en dos sitios en la Cordillera Pelada (39°59'a 41°30'); y establecieron el rol de éstos en la dinámica y mortalidad de la especie en esa zona. El estudio anterior estableció que el fuego ha jugado el rol principal en la dinámica de Alerce en los bosques situados en esa cordillera al menos durante los últimos 600 años, fechándose el incendio más antiguo en 1397. Este estudio determinó además, que el fuego es la causa principal de la extensiva mortalidad de la especie en esta área.

En la zona norte de la Patagonia Argentina, y en forma anterior al estudio mencionado, se efectuó una cronología de fuego para *Austrocedrus chilensis*, la cual demostró la influencia del clima en la frecuencia de incendios, especialmente los relacionados a episodios de sequía, así como también la influencia de tormentas eléctricas y la acción humana de poblaciones nativas y de colonizadores europeos en la ocurrencia del fuego (Kitzberger & Veblen, 1997). Una investigación similar, donde se estudió el rol de los humanos y de la variación climática en la historia de fuego, se llevó

a efecto también para la zona norte de la Patagonia Argentina, tanto para *Fitzroya* cupressoides, como para *Autrocedrus chilensis* (Veblen et al. 1999).

Dado que el número de cronologías desarrolladas en Chile y Sudamérica hasta el momento ha sido escaso, en comparación con las desarrolladas en el hemisferio Norte, resulta importante extender el área geográfica de las cronologías así como la diversidad de especies utilizadas, para potenciar y ampliar sus diversas aplicaciones (Lara & Villalba, 1994b).

En el caso particular del desarrollo de la dendrocronología en Alerce, es posible señalar, que si bien su característica de desarrollar anillos extremadamente delgados dificulta su estudio, la distribución de esta especie en un área geográfica heterogénea de unos 350 km de norte a sur y a través de un fuerte gradiente de precipitaciones y temperatura en el sentido oeste-este, ofrecen una buena oportunidad para el estudio de patrones espaciales de la variabilidad del crecimiento de Alerce y su relación con variables climáticas. Además de estos estudios dendroclimáticos, otras investigaciones han demostrado la utilidad de esta especie para el fechado de incendios ocurridos en los últimos siglos, y para reconstruir regímenes de disturbios. Por último, el contar con una extensa red de cronologías de anchos de anillos de Alerce ha permitido desarrollar un método para el fechado de cortas ilegales de Alerce, lo cual resulta de gran importancia para promover la conservación de esta especie (Lara *et al.* 2000).

4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1 Area de estudio

El área de estudio corresponde a la localidad de Abtao, situada dentro del Parque Nacional Chiloé (anexo 1).

El área se encuentra ubicada aproximadamente a los 42°30'S; 73°55'W, en las cimas de la Cordillera de la Costa (denominada en esta zona como Cordillera de Piuché) entre los 550 y 750 msnm (Figura 1). El relieve es ondulado, las pendientes son moderadas y el bosque en estudio se encuentra principalmente en exposiciones norte.

El paisaje está caracterizado por la presencia de Alerce en el estrato dominante, donde una proporción importante corresponde a individuos muertos en pie. Alerce se encuentra acompañado en este mismo estrato por *Pilgerodendron uvíferum*. El sotobosque está compuesto principalmente por *Tepualia stipularis*, el cual no supera los 3 metros de altura.

El tapiz del suelo de esta zona está dominado por plantas en cojín, tales como Astelia pumilia y Donatia fascicularis. Existen abundantes plántulas y brinzales de Alerce y se puede encontrar en forma esporádica regeneración de Nothofagus nítida, Podocarpus nubígena y Embothrium coccineum. Es posible encontrar además, abundante presencia de Coicopihue (Philesia magellanica) creciendo sobre los troncos de Alerce.

El área de estudio está situada aproximadamente a unos 7 km de la Costa del Pacífico, por lo cual se encuentra bajo la influencia directa de los vientos del oeste y de las neblinas costeras. El clima presente en el área es del tipo templado-húmedo con fuerte influencia oceánica. Los inviernos se caracterizan por ser lluviosos y fríos, extendiéndose entre Junio y Agosto, y los veranos por ser cálidos y menos húmedos, extendiéndose entre Diciembre y Marzo (Pérez *et al.* 1998).

En relación a las precipitaciones registradas por la estación meteorológica situada en el lugar, el promedio de las precipitaciones en el período comprendido entre 1994 y 1999, fue de 5956.5 mm.

Las temperaturas medias mínimas invernales alcanzan los 2-3°C, y en verano 5-10°C. Las temperaturas medias máximas para cada estación son 5°C Y 15-20°C, respectivamente (Pérez *et al.* 1991).

Pérez *et al.* (1991), en un estudio para caracterizar los suelos del área, determinaron que este correspondía al tipo gley-pardo forestal, con humus moder tipo mull. La profundidad de estos suelos varía entre los 40 y los 60 cm y la textura es del tipo franco-limosa, con presencia de moteados de oxidación y desarrollo de raíces con superficies oxidadas, lo que evidencia el movimiento vertical estacional de la napa freática. Estos suelos carecen además del típico estrato de "fierrillo" que se encuentra asociado al desarrollo de un bosque maduro de *Fitzroya* en la zona de Valdivia. El pH es fuertemente ácido (menor a 5) y más de un 50% del suelo corresponde a materia orgánica, encontrándose una alta relación C/N con un valor de 41.4 (Pérez *et al.* 1991)

4.2 Colección de las Muestras en Terreno

Las muestras utilizadas para el desarrollo de la cronología, fueron colectadas en Noviembre del año 1996. Las muestras corresponden a tarugos colectados de árboles vivos y muertos, así como a tarugos, rodelas y cuñas colectados de árboles muertos y tocones.

El área de muestreo se ubica en los alrededores de un refugio existente en el lugar y la colecta fue realizada a lo largo de un sendero en una superficie rectangular de aproximadamente 4 há.

A todos los árboles a los cuales se le extrajeron tarugos, se les midió el DAP y se registró además su condición de árbol vivo o muerto y la existencia de cicatrices o heridas de incendio. Además los árboles fueron identificados con placas de cobre para su reconocimiento posterior.

Se utilizaron además, para el fechado de incendios, rodelas y cuñas colectadas en febrero y marzo del año 2002 de forma de contar con un mayor número de muestras con cicatrices de incendios.

Tomando en cuenta lo anterior, para el desarrollo de la cronología se utilizó un total de 126 tarugos y 44 muestras conformadas por rodelas y cuñas.

4.3 Preparación de las Muestras

Los tarugos, cuñas y rodelas fueron montados en molduras de madera producidas para ese fin y fueron lijados con una lijadora de banda y posteriormente a mano con lijas cada vez más finas, con el fin de hacer visibles los anillos de crecimiento, siguiendo los procedimientos descritos por Stokes y Smiley (1968)

4.4 Desarrollo de la Cronología

A partir de las muestras ya preparadas para la observación visual se procedió a contar los anillos con el uso de una lupa binocular 40 x 15, marcándose cada década con un punto, cada mitad de siglo con dos puntos y cada siglo con tres puntos, para facilitar de este modo el posterior proceso de medición.

En este estudio se utilizó la convención de Schulman (1956) para el hemisferio sur , la cual asigna a cada anillo de crecimiento el año en que se inició el crecimiento, es así como por ejemplo un anillo asignado a 1995 corresponde al período de crecimiento que incluye la primavera de 1995 y el verano de 1996.

4.4.1 Cofechado

El cofechado es el principio más importante de la dendrocronología. Este principio consiste en comparar las variaciones en los anchos de los anillos de muestras provenientes de un mismo árbol, o bien de muestras de distintos árboles colectadas en un área dada, así como de muestras colectadas de árboles de áreas cercanas. Lo anterior permite identificar claramente el año exacto en que un anillo de crecimiento fue formado y hacer correcciones debido a anillos que se encuentren localmente ausentes o bien a anillos falsos (bandas de crecimiento intra-anual). Su adecuada aplicación permite un tipo de control experimental, pues determina el año en que tuvo lugar cada crecimiento en el ancho de anillos (Fritts 1976).

El cofechado resulta posible porque similares condiciones medioambientales en un área dada limitan el crecimiento y porque las fluctuaciones anuales de los factores limitantes producen variación sincrónica en el ancho de los anillos (Neira 1995).

Si una muestra presenta anillos ausentes producto de períodos de estrés donde no se produce crecimiento cambial en alguna parte del árbol, o bandas de crecimiento intraanual, producto de cambios medioambientales bruscos durante el año de crecimiento y
que pueden ser confundidas con anillos anuales, las variaciones en el ancho de anillos
para esta muestra no cofecharán con las muestras de otros árboles o de otras secciones
del mismo árbol (Figura 2). Los anillos que presenten problemas pueden identificarse
porque si los anillos coinciden adecuadamente en un lado del área con problema,
parecerán no coincidir del otro lado. Cuando se reconoce la discrepancia, la secuencia de
anillos es corregida incorporando anillos de crecimiento anual faltantes o extrayendo los
anillos falsos (Fritts 1976).

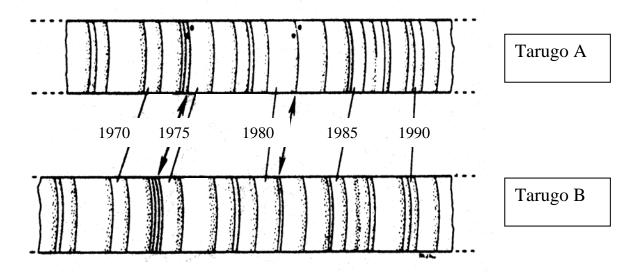


FIGURA 2: El cofechado permite el reconocimiento de zonas donde los anillos de crecimiento están localmente ausentes o donde existe una banda de crecimiento intra-anual. Los patrones de anillos anchos y estrechos son comparados entre las muestras. Las flechas indican la posición de los anillos ausentes en el tarugo A.

4.4.1.1 Cofechado visual con Skeleton Plot

Antes de realizar el cofechado por computadora se realizó un cofechado visual de las muestras provenientes de árboles vivos, a través de una forma gráfica de representar los anillos.

Este método (*Skeleton Plot*), utiliza papel gráfico y un lápiz. Cada línea vertical del papel gráfico (papel milimetrado), representa un anillo. Los anillos más pequeños fueron dibujados mediante el trazado de una línea vertical sobre el eje del gráfico, mientras que en los anillos más grandes la línea vertical se dibujó hacia abajo del eje del gráfico, siguiendo el método descrito por Stokes y Smiley (1968).

El valor de cada línea dibujada fue definido en función a los dos o cuatro anillos más próximos al anillo analizado.

El máximo valor que asignado a la línea dibujada fue de 15 mm, para los anillos más pequeños; mientras que para los anillos más grandes el valor fue de –10 mm. El valor mínimo fue cero (0), cuando la diferencia visual en relación a los anillos más próximos fue mínima o ninguna (Tabla 1) (Neira 1995).

Como es posible visualizar, los valores asignados a las líneas verticales corresponden a un valor relativo, puesto que son una estimación en relación a los anillos contiguos al anillo analizado.

Luego de obtenerse un gráfico característico para las muestras analizadas, se procedió a realizar el cofechado, empalmándose en este caso los patrones comunes de anillos grandes y pequeños, representados por cada gráfico.

TABLA 1. Clasificación del tamaño de anillos angostos y anchos con su respectivo valor asignado.

ANILLOS	VALOR ASIGNADO (mm)				
ANILLOS PEQUEÑOS					
Muy angostos	15				
Angostos	10				
Moderadamente angostos	5				
ANILLOS GRANDES					
Muy anchos	-10				
Anchos	-5				

Finalmente fue posible obtener un gráfico maestro para las muestras analizadas, el cual fue construido promediando visualmente las longitudes de las líneas para cada año a partir de los gráficos obtenidos.

4.4.1.2 Medición del ancho de los anillos

El ancho de los anillos fue medido con un dendrómetro VELMEX Inc, con una precisión de 0.001 mm. Esta máquina consiste en un carro que desplaza la muestra y un contador (medición del ancho) conectado a un computador personal, quedando registrada la medida en un archivo, el cual es fuente para los programas COFECHA (Holmes, 1983) y ARSTAN (Cook & Holmes, 1984).

4.4.1.3 Programa COFECHA (Holmes, 1983)

Una vez realizada la medición de las series de los árboles vivos en que se conoce el año del último anillo (dado por el año de colecta), se cofechó entre ellas, utilizando el programa COFECHA, para formar así la cronología base. Las series para las que COFECHA identificó problemas, se graficaron usando la rutina BARPLOT, la cual muestra la desviación estándar de cada serie individual. Mediante la comparación de los gráficos de las series individuales y la serie promedio para el sitio, y el análisis

cuidadoso de las muestras con problemas bajo la lupa, se identificaron los anillos que puedan haberse omitido por error o estar ausentes en el radio analizado (Lara *et al.* 2000).

Posteriormente se cofechó el resto de las muestras con la cronología base, es decir, los tarugos, cuñas y rodelas de árboles muertos, a los cuales no se conoce el último año y las muestras en las cuales la sección externa correspondiente a la albura no existe o no puedan identificarse los anillos debido a la pudrición. Para realizar esta operación se ingresaron a COFECHA las muestras de los árboles muertos o sin su porción externa como "undated" (no fechado). El programa indica las alternativas posibles para el año inicial de cada muestra. Luego se volvió a cofechar la muestra, pero esta vez con el posible año inicial identificado en el programa.

Posteriormente el programa COFECHA ajusta cada serie individual a un *spline* cúbico flexible de 32 años y promedia las series para obtener la cronología maestra. El programa COFECHA, identifica así mismo, segmentos de 100 años (con traslapes de 50 años), en que pudieran existir problemas de cofechado por anillos sobrantes o faltantes en determinadas series. Dado lo anterior, la utilidad principal de este programa es mejorar la calidad de los datos a través de la examinación de toda la serie, localizando posibles errores de fechado o medida.

Por último el programa entrega una salida donde se grafican todos los años que comprenden la serie, indicando la desviación del ancho de los anillos de todas las series para el mismo año a través de un código alfabético. Este valor se encuentra relacionado en forma directa con el ancho relativo de los anillos. El programa entrega también la correlación de cada serie con la serie maestra, señalando aquellos segmentos que presentan una correlación inferior al nivel crítico o que presentan una correlación mayor en una posición diferente de donde está en la serie maestra. Además indicará los años con problemas ya sea por correlación inferior al nivel crítico, o bien por anillos sobrantes o ausentes.

En una colección usualmente se pueden cofechar sólo una parte de las muestras. El porcentaje varía entre 43% y 90%, dependiendo de las características del sitio. Las muestras que no cofechan normalmente provienen de árboles cuyo crecimiento ha estado

fuertemente influenciado por condiciones locales (competencia, liberaciones, incendios, Lara *et al.* 2000).

4.4.2 Estandarización

Luego de realizar el cofechado se procedió a efectuar una estandarización de las series.

El ancho de los anillos puede variar tanto por las fluctuaciones en las condiciones ambientales, como también por cambios sistemáticos en la edad del árbol, la altura del tronco y las condiciones de productividad del sitio.

La estandarización es un método que consiste en ajustar la serie de crecimiento de cada árbol individual a una curva adecuada, de forma de remover los efectos producidos por la disminución del crecimiento del árbol con la edad y cambios en la geometría del árbol. De esta manera la serie de crecimiento estandarizada tiene una media igual a uno (1) y una varianza relativamente homogénea a lo largo de la vida del árbol (Fritts, 1976). La estandarización consiste en la práctica, en transformar cada serie de crecimiento (ancho de anillos) de un árbol individual a través de la división del ancho del anillo por el valor estimado por una curva ajustada para el año en particular. El valor obtenido se conoce como Índice de ancho de anillos.

En este estudio se utilizaron curvas de diferente rigidez (recta, exponencial negativa, horizontal) (método 1), de modo de emular o reproducir las tendencias biológicas del crecimiento y determinar cuál es la que mejor se ajusta a cada serie. Mientras más rígida es la curva de ajuste, se preserva un mayor porcentaje de la varianza de baja frecuencia (ondas largas), permitiendo de esta forma la detección de respuestas más sostenidas en el tiempo, ya que si bien, las estandarizaciones flexibles detectan los disturbios, éstos tienden a "perderse" dentro del "ruido" climático de alta frecuencia resaltado por esta técnica.

Dado lo anterior, en estudios dendroclimáticos donde el objetivo es minimizar las tendencias atribuidas a la edad de los árboles, de manera de poder incorporar y comparar árboles de distinta edad en cuanto a su variabilidad interanual; a cada serie individual se le ajusta una función no lineal (exponencial, *spline* o polinomial); por el contrario en

estudios de reconstrucción de disturbio donde las respuestas son sostenidas en el tiempo, el ajuste de series individuales con líneas horizontales coincidentes con la de crecimiento medio de la serie, ha demostrado ser el método de estandarización más adecuado para revelar períodos prolongados de liberación (Kitzberger *et al.* 2000).

La estandarización se llevó a cabo utilizando el programa ARSTAN (Cook & Holmes, 1984), el cual contiene las funciones que se utilizan para la reconstrucción de diferentes variables (clima, incendios). Estas diversas funciones, a través de una única opción en el programa, fueron utilizadas para el ajuste de las curvas de crecimiento y se obtuvo una salida en la cual sólo se consideró la curva que presenta la mayor correlación entre series, permitiendo de esta forma, desarrollar la cronología a partir de las series cofechadas, generando primero la estandarización de cada serie, para luego computar la cronología.

Las etapas más importantes que realiza este programa son las siguientes:

- 1. Ajusta cada serie individual a una curva que simula el crecimiento biológico, que se elige en forma previa.
- 2. Se genera una modelación de autoregresión con cada serie, con la finalidad de buscar el orden de la autocorrelación que contendrá la más alta explicación de la variación del ancho de anillos de cada serie.
- 3. Se generan las siguientes cronologías:
 - Cronología ESTÁNDAR: En la cual los índices de ancho de anillo de cada serie que compone la muestra (etapa 1), son promediados estadísticamente, generándose la cronología.
 - Cronología RESIDUAL: En la cual se toman los valores residuales provenientes del modelo de autoregresión (etapa 2), luego del ajuste de la curva de crecimiento (etapa 1), y son promediados estadísticamente para obtener la cronología residual. En esta cronología se ha eliminado la autocorrelación (correlación del ancho de un anillo de un año determinado con el ancho de los anillos de los años anteriores), por lo cual presenta una correlación más alta con las variables climáticas y es la que normalmente se utiliza para este tipo de reconstrucciones.

• Cronología ARSTAN: En la cual se incorporan los coeficientes del modelo de regresión a los valores residuales previamente logrados desde el modelo de autoregresión, para ser promediados estadísticamente y de este modo obtener la cronología.

El programa ARSTAN ofrece un menú con diversas posibilidades de tratamientos y manipulación de las series, entregando detallados análisis estadísticos con la finalidad de lograr la mejor cronología. La salida entrega la sensibilidad media, la intercorrelación, las autocorrelaciones de primer y segundo orden, la varianza contenida en el primer componente principal y otros parámetros, además del gráfico de índices por año y el listado de índices de anillos por año y versión.

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los estadígrafos anteriormente citados:

 Sensibilidad media: Es un estadígrafo diseñado específicamente para analizar las variaciones en el ancho de anillos y corresponde al cambio medio de cada ancho de anillo con respecto al siguiente.

La sensibilidad media tomará valores mayores que cero cuando las series analizadas sean sensibles o presenten variaciones de importancia y serán más complacientes a medida que su valor se acerque a cero. Así los valores más altos indican un sitio con mejores características para estudios dendrocronológicos.

- Correlación entre series: El coeficiente de correlación es utilizado para medir la interdependencia o asociación entre dos grupos de datos, que en este caso corresponde a series provenientes de un mismo árbol o provenientes de árboles o sitios diferentes.
- Autocorrelación: Este estadígrafo mide el grado de asociación o dependencia dentro de una misma serie. Tanto un anillo como un segmento de anillos pueden ser correlacionados con el siguiente anillo o segmento de anillos. El orden de la autocorrelación dependerá de la diferencia en años entre el primer anillo analizado y el segundo anillo incluido en el análisis.
- Varianza en el primer componente principal: Este estadígrafo señala el grado de señal común presente en el sitio. Un valor alto, por tanto, refleja condiciones más

homogéneas para el crecimiento de los individuos y una menor incidencia de factores locales aislados.

Además del ajuste anterior realizado a la totalidad de la cronología, se realizó un ajuste a una curva horizontal (método 2), para resaltar de esta forma, los efectos provocados por los incendios sobre el crecimiento de los árboles afectados. Este ajuste también se aplicó sólo a las muestras que presentaban evidencias de incendios (cicatrices y/o liberaciones), de modo de poder resaltar más claramente los efectos provocados por este tipo de disturbios.

4.5. Comparación con otras Cronologías de anchos de anillos

De forma de analizar si existen patrones comunes de crecimiento a nivel regional y establecer el grado de similitud entre la cronología desarrollada con otras de Alerce ya existentes para el país, se comparó ésta con todas las que existen para la Cordillera de la Costa (Pelada, Mirador, Pabilos y Chiloé) además de la cronología Lenca (Lara & Villalba, 1993) en la Cordillera de Los Andes, por ser ésta la de mayor amplitud y solidez de las desarrolladas en esa región geográfica, hasta el momento en que este proyecto se llevó a cabo.

Para verificar el fechado correcto de la cronología, ésta fue comparada con las anteriormente desarrolladas para la Cordillera de la Costa y con la cronología Lenca. La comparación se realizó a través del programa COFECHA.

Además de lo anterior se efectuó una comparación en intervalos de 200 años, para lo cual se utilizó el estadígrafo Coeficiente de Correlación el que se obtuvo usando el programa MAT (Matrices de Correlación; Holmes, 1994).

4.6. Métodos utilizados para el fechado y reconstrucción de disturbios

En el caso de árboles que han sido sometidos a regímenes de disturbio, como es el caso de los bosques que han sido incendiados, los cambios abruptos en los patrones de sincronía en el crecimiento radial, como son las liberaciones o supresiones, son utilizados para identificar la fecha exacta en que se produjo el evento. Es así como es posible identificar por comparación y marcar los años correspondientes a liberación o supresión. La desventaja de este método cualitativo es que se puede perder el orden cronológico a causa de falsos anillos o anillos faltantes. Por ello un supuesto del método es la ausencia o escasez de dichos fenómenos (Kitzberger *et al.* 2000).

Una segunda forma de identificar el efecto de disturbios, como los incendios, es mediante series de mediciones de incrementos radiales. Es así como para realizar el fechado de los incendios se utiliza una metodología estándar de análisis de series de anillos. Genéricamente los pasos a utilizar en esta metodología son: la toma de muestras, medición y cofechado de series individuales, obtención de series maestras y manipulación para reducir señales no deseadas, de modo de resaltar las señales provocadas por el incendio.

En reconstrucción de historias de disturbio, severas supresiones por daño pueden determinar un gran número de anillos faltantes o bien paquetes de microanillos imposibles de discriminar y medir. En estos casos el cofechado por segmentos de la serie se torna imprescindible (Kitzberger *et al.* 2000)

En el caso de disturbios como fuego, se puede producir la muerte parcial del cambium y la consiguiente formación de cicatrices basales en individuos directamente afectados pero que sobreviven al evento o a eventos sucesivos. De esta forma en lugar de cambios en el patrón de crecimiento, esta técnica se basa en la identificación y datación de eventos reflejados por marcas discretas en las series dendrocronológicas. Es posible, incluso, determinar la estación en la que se produjo el fuego por la posición en el anillo de la cicatriz. Así, dichos eventos pueden clasificarse como: fuegos del período de receso vegetativo, si la cicatriz se ubica entre el leño tardío del año previo y el leño temprano del año en cuestión, fuegos de primavera, si la cicatriz se halla dentro del

primer tercio del leño temprano, fuegos de principios del verano, si la cicatriz se ubica dentro del tercio central del leño temprano, fuegos de la estación de crecimiento tardía (mediados de verano) si la cicatriz se ubica dentro del tercer tercio del leño temprano y fuegos del final de la estación de crecimiento si la cicatriz se ubica en el leño tardío (Kitzberger *et al.* 2000).

Una sección transversal típica de una cicatriz muestra la marca basal (Figura 3), que en caso de cicatrices de fuego se asocia a la formación de carbón sobre el tejido muerto o "cara" de la cicatriz y el callo de cicatrización que recubre progresivamente la herida. Si la superficie dañada no involucra gran porcentaje del perímetro del tronco, eventualmente los tejidos de cicatrización de cada extremo se fusionan dejando cicatrices "ciegas", sólo reconocibles en corte transversal. Cuando más de un disturbio afecta la vida de un individuo, puede identificarse más de una cicatriz que señale incendios anteriores (Kitzberger *et al.* 2000).

En el caso del fuego, la formación y posición de las cicatrices será función de la temperatura y velocidad de avance del fuego, la altura del árbol y el grosor de la corteza del árbol afectado. En términos generales las cicatrices suelen encontrarse más frecuentemente en árboles relativamente resistentes al fuego (cortezas gruesas) y en bosques con regímenes de fuego de intensidad intermedia a baja, suficiente para producir un daño parcial en el cambium. En situaciones de fuegos intensos, en cambio, es común que éste tienda a matar individuos en vez de dejar sobrevivientes.

Utilizando como base la cronología desarrollada para el área de estudio, se procedió al fechado de evidencias de fuego tales como cicatrices o liberaciones que denotaban la ocurrencia de algún incendio. Al cofechar las muestras con cicatrices de incendios (utilizando COFECHA) se asignaron años calendario a los eventos de fuego.

Una vez cofechadas las muestras se produjo la cronología maestra de fuego o tabla de intervalos compuestos que consiste en un listado cronológico de todas las fechas de fuego de las series individuales, corregidas por cofechado para un área dada.

La cronología de fuego obtenida fue comparada con los registros obtenidos para Alerce en la Cordillera Pelada (Lara *et.al* 1999, Lusk 1996) y con lo obtenido para *Austrocedrus chilensis* en el norte de la Patagonia Argentina (Veblen *et al*. 1999).

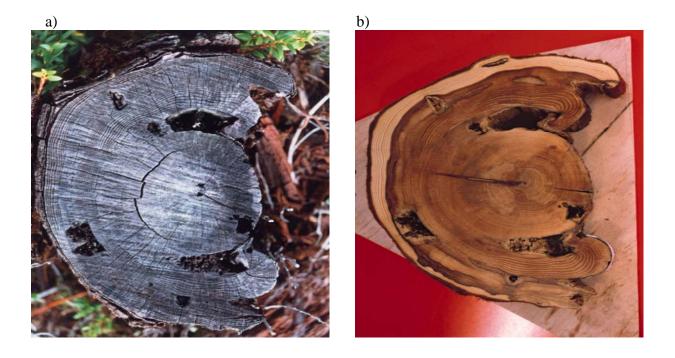


FIGURA 3. Fotografías de una rodela de Alerce con cicatrices de incendios. a) en su estado natural y b) después del lijado.

5. RESULTADOS

5.1 Profundidad de la cronología y cofechado

La cronología desarrollada para la zona de Abtao, tiene una amplitud de 1477 años, cubriendo el período que va desde el año 525 D.C hasta el año 2001 D.C. De las 170 series extraídas, cofecharon 68 (40% del total), de las cuales 52 corresponden a tarugos (76% de las series cofechadas). El promedio de años por serie para esta cronología es de 304 años.

Una descripción general de la cronología desarrollada así como de las demás cronologías existentes en la Cordillera de la Costa y la de Lenca en la Cordillera de los Andes, se presenta en la Tabla 2.

La profundidad de la cronología puede verse en las Figuras 4 y 5, en las cuales se observa que la cronología desarrollada contiene series de longitud muy heterogénea, presentándose la mayor cantidad de series en el tramo comprendido entre el año 1400 y el año 1750. Es posible notar también, que existe un conjunto de aproximadamente once series cortas que se presentan en el último período, desde alrededor del 1830 hasta el presente. Por otro lado también se observa que existe una cierta porción de series flotantes que se presentan en la primera sección de la cronología, antes del año 1000 D.C.

Por último, la cronología desarrollada no presenta series que abarquen la totalidad del período, siendo la serie de mayor amplitud la que abarca desde el año 565 hasta el año 1692 D.C (1128 años).

TABLA 2. Información general sobre las cronologías seleccionadas

Cronología Región		Latitud	Elevación	Amplitud	Nº de series	Nº total de anillos	Nº de	Anillos
	Geográfica	Longitud	m.s.n.m	(años)			anillos	Ausentes
							ausentes	(%)
ABTAO (*1)	Cordillera de	42°30′S; 73°55′W	750	525-2001	68	21250	7	0.033
	la Costa			(1477 años)				
CHILOE (2)	Cordillera de	42°30'S; 73°55'W	750	1132-1994	73	20161	24	0.119
	la Costa			(863 años)				
PABILOS (2)	Cordillera de	40°55'S; 73°43'W	800	350-1996	43	17125	27	0.158
	la Costa			(1647 años)				
PELADA (2)	Cordillera de	40,09°S; 73°45°W	850	-448-1992	57	28404	27	0.095
	la Costa			(2441 años)				
MIRADOR(2)	Cordillera de	40°10′S; 73°42′W	820	1119-1992	33	12633	4	0.032
	la Costa			(874 años)				
LENCA (2)	Cordillera de	41°33'S; 72°36 W	875	-1637-1987	43	37260	57	0.153
	los Andes			(3625 años)				
		ada da Larra et al 2000						

(*) Fuente: (1) Este estudio, (2) Adaptado de Lara et al. 2000

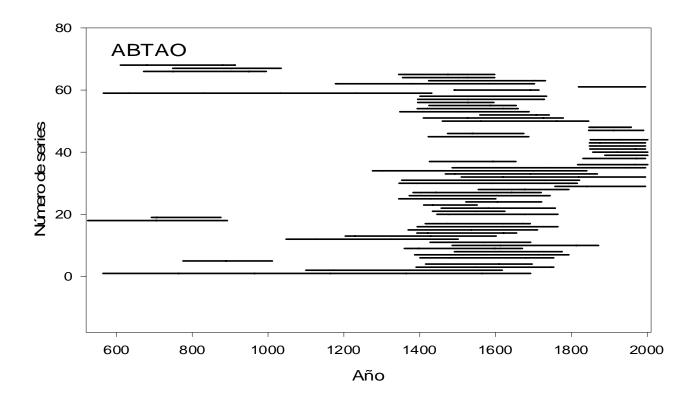


FIGURA 4. Profundidad de la cronología

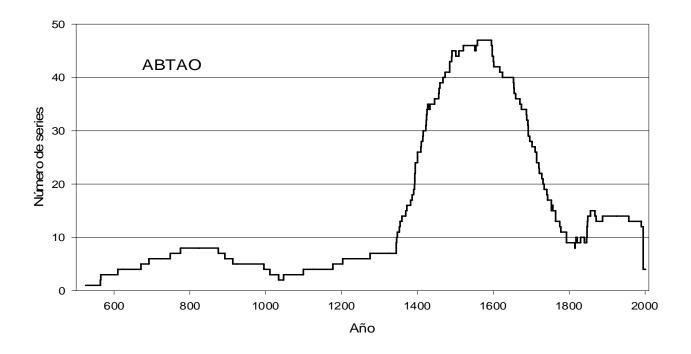


FIGURA 5. Número de series por año para la cronología Abtao.

Para esta cronología los segmentos de análisis en el programa COFECHA (Holmes, 1983) fueron de una longitud de 100 años, con traslapes de 50 años, lo que implica un nivel crítico de correlación igual a 0.2324 para un 99% de confianza. Los segmentos inferiores a estos niveles de correlación fueron marcados como segmentos con problemas de cofechados potenciales.

La utilización de segmentos de mayor amplitud (100 años) que los que usualmente se utilizan (50 años), se debió a que la cronología abarca un período mayor a mil años, por lo que el nivel de exigencia crítico requerido disminuye, comparado con cronologías de extensiones menores donde el nivel crítico de correlación exigido es del 0.328 para un 99% de confianza.

El cofechado de la cronología dio como resultado una intercorrelación entre series de 0.42, una sensibilidad media de 0.216 y 23 segmentos con posibles problemas. El número total de anillos de la cronología fue de 21250, de los cuales siete anillos estaban ausentes, cifra que corresponde a un 0.033% del total de anillos.

La salida del programa COFECHA se presenta en el anexo 2.

Para analizar el grado de correspondencia entre el número de series y la correlación por segmentos, en la Figura 6 se presenta la correlación promedio por segmento de la cronología desarrollada y el número de series por intervalo.

Del gráfico se puede señalar que, en ciertos períodos, no existe una alta correspondencia entre el número de series y la correlación por segmento de años, lo cual queda demostrado especialmente en los segmentos comprendidos entre el año 650 y 850, donde se presentan los valores más altos de correlación y un número de series inferior a 10, aunque superior a 5. Es así como en el segmento donde se presenta la más alta correlación (un valor de 0.56 en el segmento 700-799), sólo se presentan 8 series. Pese a lo anterior en el tramo donde se presenta el mayor número de series la correlación también es relativamente alta, aunque no como en el caso anteriormente mencionado, alcanzando valores de hasta 0.48. Así mismo en el caso de los menores valores de correlación (menores a 0.3), que se presentan en el tramo entre el año 1000 y 1300, el número de series por segmento es también bajo (entre 3 y 6 series por segmento).

El valor de correlación promedio para todos los segmentos es de 0.42.

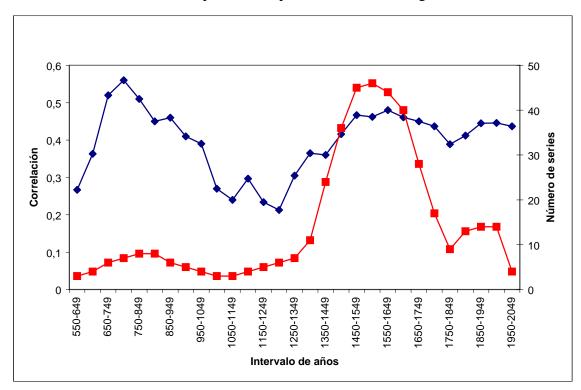


FIGURA 6. Correlación por segmentos de la cronología Abtao, donde la línea azul representa la correlación y la línea roja representa el número de series por intervalo.

5.2 Estandarización

Al utilizar el método 1 de estandarización, el ajuste a una curva negativa exponencial refleja el comportamiento clásico de disminución del ancho de los anillos en el tiempo debido al envejecimiento del árbol, cuando los factores de competencia y disturbios locales son mínimos. El caso de un ajuste a una línea de regresión o a una línea horizontal que pasa por la media, sería útil para mostrar los efectos de competencia o disturbios locales que pueden alterar la esperada disminución exponencial del crecimiento de los anillos en el tiempo (Kitzberger *et al.* 2000).

La cronología Estándar desarrollada a partir del ajuste anterior se presenta en la Figura 7. A esta cronología se le aplicó un filtro de modo de reflejar más claramente las tendencias que presenta el índice de ancho de anillo (Rosenblüth et al. 1997). En ella es posible observar diversos períodos donde se aprecia un marcado aumento y/o disminución en este índice. En referencia a lo anterior, en la primera parte de la cronología, desde el año 525 hasta el año 640 aproximadamente, se presenta un período donde el índice es menor a uno y a partir de este año se produce un gran aumento. Sin embargo, este período de bajo crecimiento no es de mayor relevancia pues el número de muestras es inferior a 5. El segundo período que resulta necesario destacar es el que se presenta a fines del siglo XIII y comienzos del XIV, donde se aprecia una disminución importante del crecimiento, minimizándose el año 1311 con un índice de 0.3 y luego un aumento considerable hasta alcanzar el punto máximo de la cronología el año 1320, con un índice de 3.14. Por último existen dos períodos importantes de destacar, uno a principios del siglo XIX con una disminución importante del índice hasta alcanzar un valor de 0.29 en el año 1822 y un posterior aumento hasta alcanzar un valor de 1.87 en el año 1838. El otro período, corresponde a la tendencia a un aumento paulatino en el crecimiento a mediados de la década de 1960 y una caída a partir del año 1998, la cual tampoco resulta significativa pues el número de muestras presentes con posterioridad a 1995 es menor a 5.

A fin de relacionar la variación presentada en el índice de ancho de anillo en la cronología desarrollada y el número de series que la componen a través de los años, la Figura 8 presenta la versión Estándar de la cronología y el número de series por año.

Un resumen de los estadígrafos obtenidos en esta cronología, a través del programa ARSTAN, así como de los estadígrafos obtenidos para el resto de las cronologías desarrolladas en la Cordillera de la Costa, y la desarrollada en Lenca, se presenta en la Tabla.3.

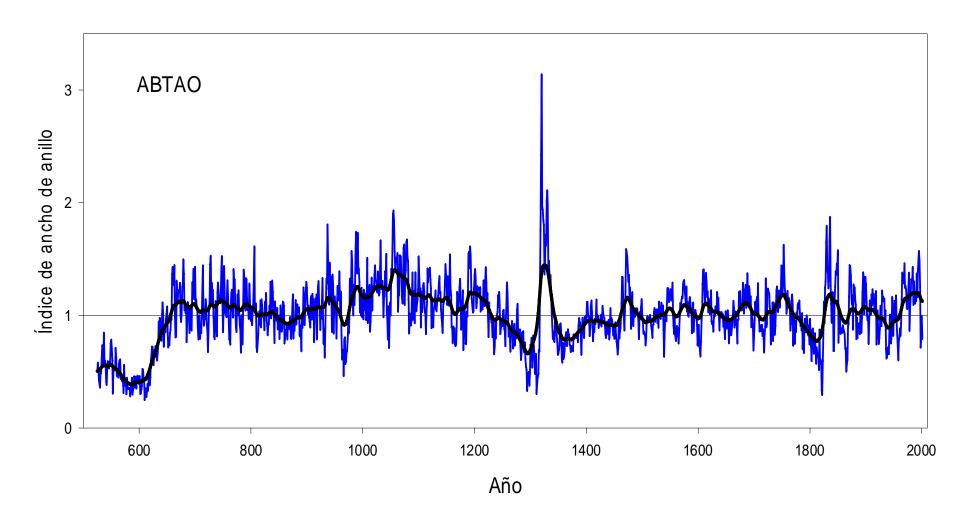


FIGURA 7. Cronología de anchos de anillos Abtao en su versión estándar, ajustada con el método 1 y filtrada según método propuesto por Rosenblüth *et al.* 1997.

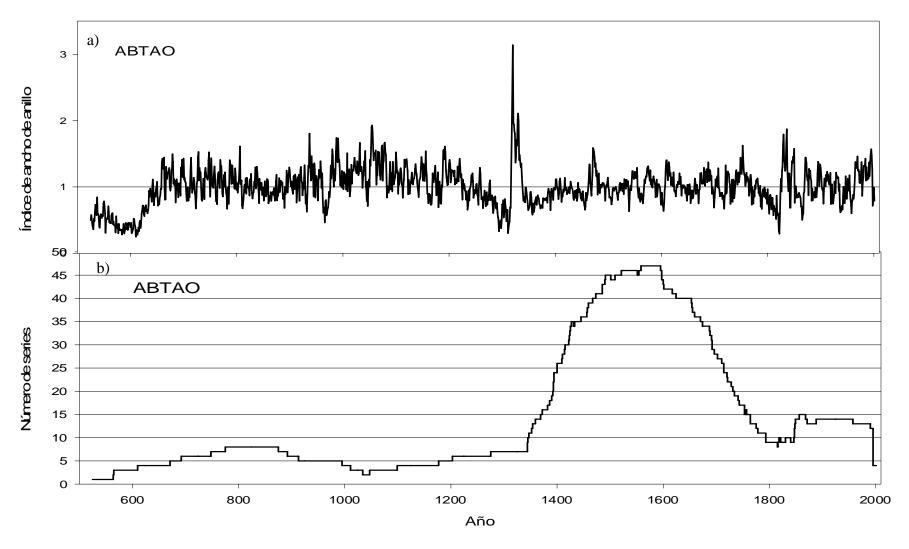


FIGURA 8. Cronología Estándar de ancho de anillos para Abtao ajustada con el método 1 y número de series por año.

TABLA 3. Resumen de los estadígrafos provistos por el programa ARSTAN para las cronologías de F. cupressoides seleccionadas. Los estadígrafos dados son para la versión Estándar de las cronologías.

Cronología total					Intervalo Común			
Cronología	Sensibilidad	Desviación	Autocorrelación	Período Nº total		Correlación media	Varianza en el 1º comp.	
	Media	Standard	de 1º Orden		de años	entre árboles	Principal (%)	
ABTAO ¹	0.1325	0.2849	0.8210	1492-1687	196	0.194	23.75	
CHILOE ²	0.1244	0.2126	0.7017	1661-1981	321	0.259	34.61	
PABILOS ²	0.1370	0.2197	0.6979	1696-1981	286	0.147	22.38	
PELADA ²	0.2013	0.4365	0.7694	1603-1988	386	0.211	27.9	
$MIRADOR^2$	0.1155	0.2590	0.8516	1657-1978	322	0.165	24.66	
LENCA ²	0.1875	0.3040	0.7451	1248-1854	607	0.216	28.07	

Fuente: 1 Este estudio. 2 Recopilación de datos por cronología

5.3 Comparación con otras cronologías de ancho de anillos

Esta comparación realizada mediante el programa MAT considerando segmentos de 200 años, permite conocer el grado de similitud entre las distintas cronologías consideradas y permite diferenciar patrones locales de aquellos regionales. Una alta correlación, por lo tanto, indicaría períodos en los cuales el crecimiento en los diferentes sitios está determinado por una señal climática común dentro de la región. La Figura 9 muestra las cronologías estándar de cada uno de los sitios elegidos.

La Tabla 4 muestra los coeficientes de correlación de la cronología desarrollada, con las anteriormente señaladas y la Figura 10 muestra gráficamente dichos coeficientes de correlación. En esta última figura es posible visualizar que existe en todas las comparaciones efectuadas, una tendencia general al aumento en los valores de correlación a través del tiempo. Así mismo, es posible ver que los mayores valores de correlación se observan en general, con la cronología Pabilos a lo largo de toda su extensión y con la cronología Chiloé, desde aproximadamente el año 1500.

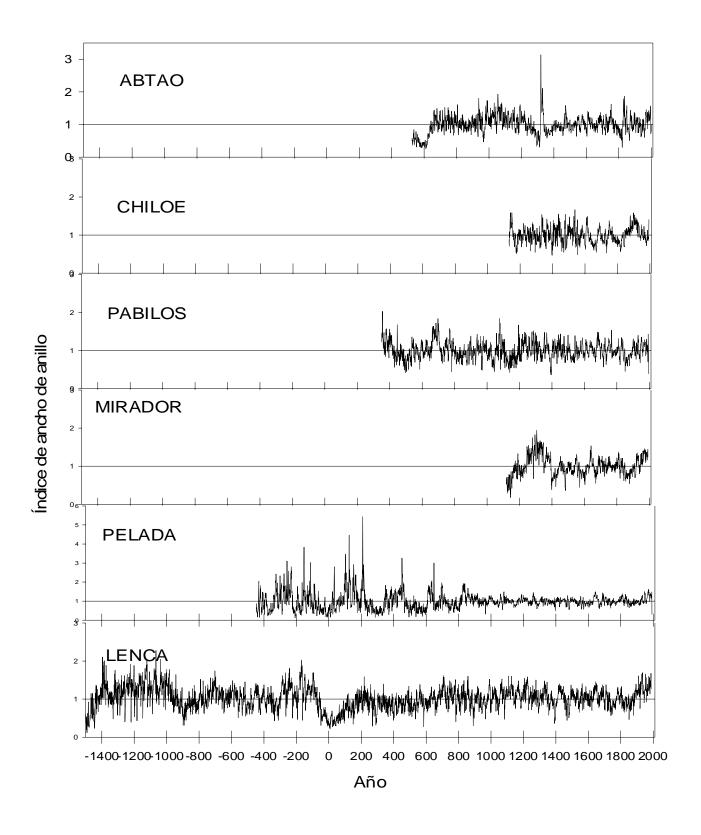


FIGURA 9. Cronologías Estándar para cada uno de los sitios seleccionados, ajustadas con el método 1.

TABLA 4. Coeficientes de correlación de la cronología Abtao con las ya existentes para Alerce.

Período	CHILOÉ	PABILOS	PELADA	MIRADOR	LENCA
525-725	-	0.174	0.084	-	-0.027
725-925	-	0.49*	0.26*	-	0.235
925-1125	-	0.253	0.356*	-	0.25
1125-1325	-	0.145	0.218	-	0.232
1325-1525	-0.081	0.373*	0.345*	0.082	0.254*
1525-1725	0.453*	0.594*	0.483*	0.46*	0.482*
1725-1925	0.556*	0.547*	0.376*	0.386*	0.395*
1787-1987	0.477*	0.477*	0.447*	0.397*	0.423*
1792-1992	0.471*	0.475*	0.466*	0.399*	-
1794-1994	0.47*	0.474*	-	-	-
1796-1996	-	0.426*	-	-	-
Promedio	0.349*	0.375*	0.324*	0.33*	0.281*

^{*} significancia a un nivel de 0.01.

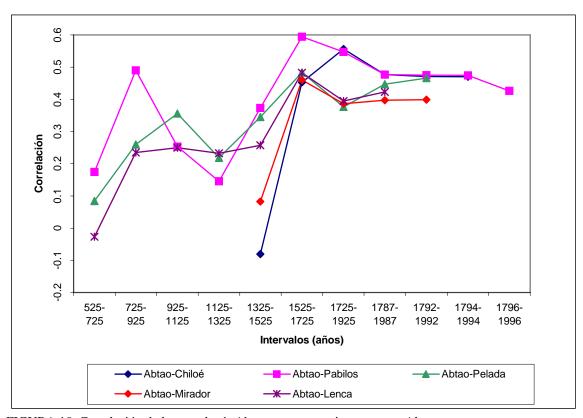


FIGURA 10. Correlación de la cronología Abtao con otras existentes para Alerce.

5.4 Cronología de Incendios

A partir del cofechado realizado a la totalidad de las series incluyendo las que presentaban cicactrices y liberaciones provocadas por incendios, se pudo dar una fecha calendario a cada evento. En algunos casos la determinación de la fecha se pudo realizar con exactitud, debido a que existía una cicatriz evidente y bien conservada provocada por el incendio; en otros casos sólo fue posible dar una fecha aproximada, pues en ciertas muestras no se presentaba dicha cicatriz, o bien, el área en torno a la cicatriz se encontraba afectada por pudrición y en otras sólo se presentaban las liberaciones provocadas por el evento en árboles con registro de haber sido afectados por incendio. En este último caso se consideró como liberación el incremento relativo de 250% en el crecimiento, tomando grupos contiguos de cinco años en la cronología construida con las muestras afectadas por incendios (24 series en total) (Kitzberger *et al.* 2000).

La Figura 11 presenta las fechas de incendios que pudieron ser determinadas en las muestras que presentaban cicatrices o liberaciones. Es posible visualizar en ella, que existe un solo evento que pudo ser fechado exactamente y que se presentaba en más de una muestra, los otros incendios que fueron fechados en forma precisa se presentaron en sólo una de ellas. Así también es posible visualizar que existe una sola muestra que presenta más de un incendio, el resto de ellas sólo evidencian la ocurrencia de uno de ellos. Por último, es necesario mencionar también los incendios que fueron fechados en forma aproximada, como es el caso del ocurrido los años 1111, 1454, 1664 y 1868, el último de los cuales se presentó en tres muestras. El incendio más antiguo ocurrido dentro del área corresponde al fechado aproximadamente en el año 1111D.C.

Para poder captar en una forma más evidente la ocurrencia de incendios dentro de la cronología, se realizó un ajuste horizontal (método 2), esto porque este ajuste permite resaltar los eventos locales de baja frecuencia que se producen en un área (Kitzberger *et al.* 2000). La Figura 12 presenta la cronología Abtao con dos ajustes diferentes, la primera corresponde a la cronología con ajuste horizontal (método 2) y la segunda corresponde a la cronología presentada anteriormente en la figura 7, la cual se encuentra ajustada a diferentes curvas de acuerdo al comportamiento de cada serie individual (método 1). Es posible visualizar al comparar ambas, que si bien la tendencia

es similar, al ajustar mediante una curva horizontal se ven mayormente acentuados los períodos de disminución y aumento en el índice de ancho de anillo, como los que se aprecian alrededor de los incendios ocurridos en 1311 y en torno a 1834 y 1868. Por otro lado es destacable el contraste que se presenta en el crecimiento en décadas recientes, pues en el caso del ajuste a una curva horizontal se aprecia una disminución en el índice de ancho de anillo presentándose la situación contraria al ajustar mediante el método 1.

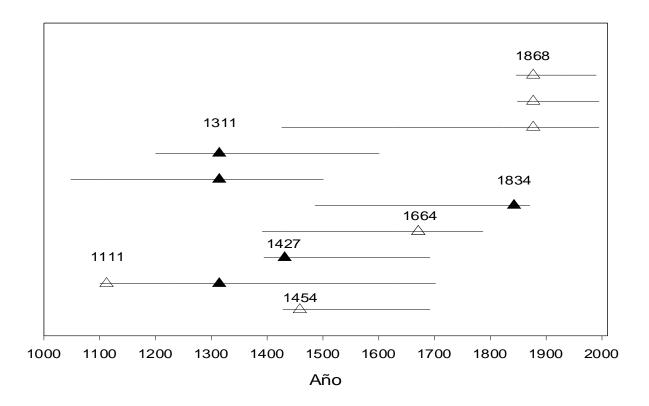


FIGURA 11. Cronología de incendios para el área de Abtao, mostrando para cada árbol la longitud de la serie y la ocurrencia del incendio. Los triángulos en color negro indican el fechado exacto del incendio, los triángulos en color blanco indican una fecha aproximada.

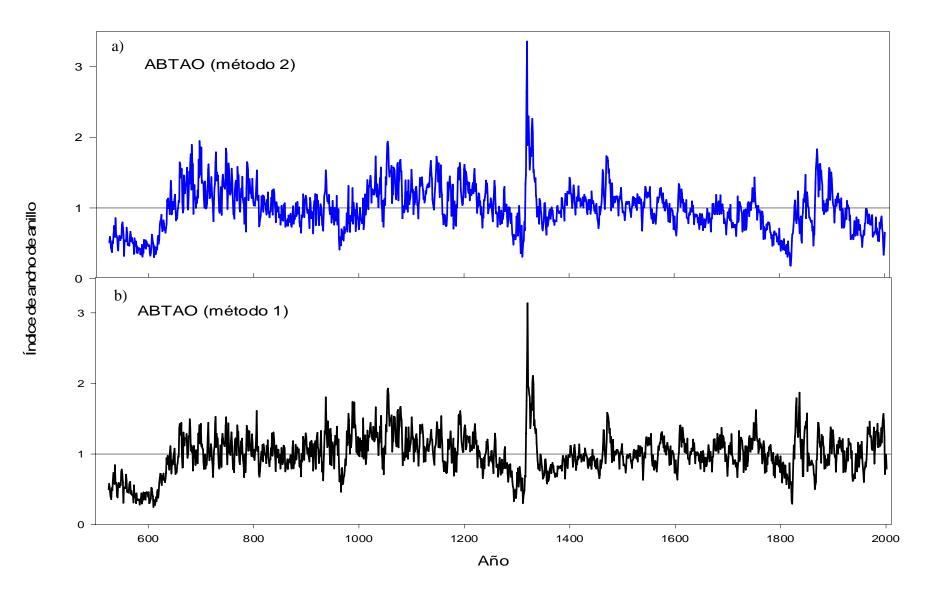


FIGURA 12. Cronología Abtao en su versión Estándar, sometida a dos ajustes diferentes a) método 2 (ajuste a una curva horizontal) y b) método 1 (ajuste a una curva negativa exponencial, regresión horizontal o línea horizontal)

La Figura 13 presenta la cronología de fuego para el área de Abtao sobrepuesta a la cronología Estándar, ajustada con el método 2 y desarrollada con las muestras que presentan cicatrices y/o liberaciones de incendios. En esta figura es posible visualizar que el incendio registrado el año 1311 es el que mayormente se encuentra representado a través de un período de supresión o bajo crecimiento, seguido por una liberación, pues la liberación que se produce en ese tramo es la más grande que se registra en toda la cronología. Es necesario destacar, sin embargo, que la liberación no se produce inmediatamente después de ocurrido el incendio, ya que en este caso en particular, si bien el crecimiento comienza a aumentar al año siguiente de ocurrido el incendio, la liberación se hace más evidente el año 1317 maximizándose en el año 1320. Así también los incendios registrados en los años 1111, 1834 y 1868 se encuentran representados a través de supresiones seguidas de liberaciones en la cronología de anchos de anillos. En estos últimos tres casos, las máximas liberaciones se manifiestan después de cuatro años de ocurridos los incendios. Los incendios registrados en los años 1427, 1454 y 1664, no se encuentran representados claramente a través de liberaciones observables en la cronología.

La Figura 14, sobrepone la cronología Estándar construida sólo con las muestras con incendios y ajustada con el método 2 a la cronología Estándar construida con la totalidad de las muestras y presentada en la figura 7. En esta figura se aprecia claramente cómo, si bien los efectos provocados por los incendios se evidencian más claramente a través de un ajuste horizontal efectuado a las muestras con evidencias de estos disturbios, los efectos de algunos de los incendios inciden y se aprecian en los patrones de crecimiento de todos los árboles que crecen en el área.

La Figura 15, muestra también la cronología de fuego para la zona de Abtao, pero esta vez relacionada con la longitud de las series que integran la cronología.

Las muestras consideradas en el gráfico de longitud de series corresponden a una por árbol. Para la determinación del año de inicio se encontró que sólo en algunas de las series se presentaba el centro, en otras sin embargo, este no se presentaba debido a la dificultad de alcanzarlo a través del taladro de incremento y por problemas de pudrición. En esta última situación, y sólo en ciertos casos, fue posible estimar la edad total utilizando la fórmula propuesta por Duncan (1989, citado por Lara *et al.* 1999), el cual

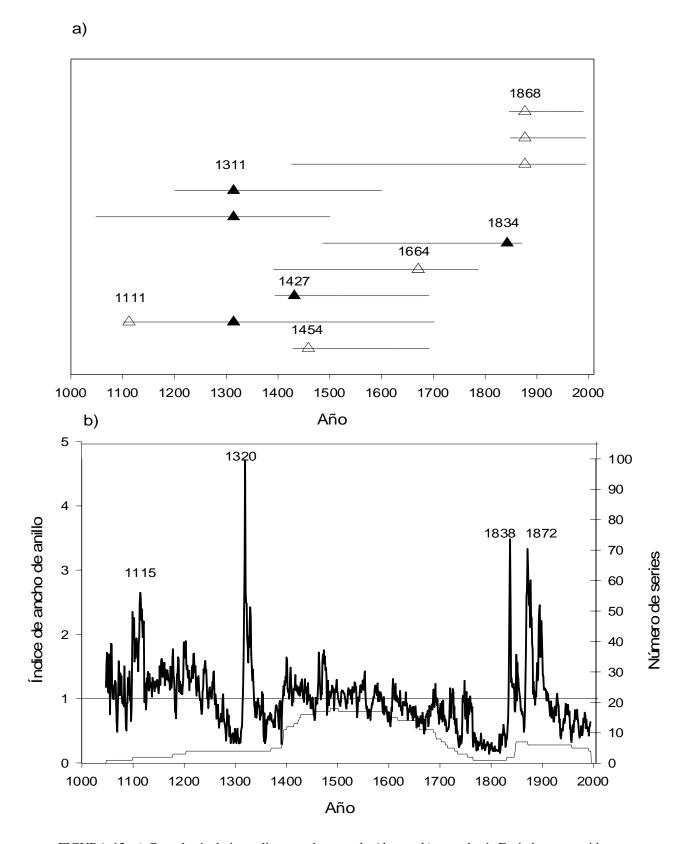


FIGURA 13. a) Cronología de incendios para la zona de Abtao y b) cronología Estándar construida con muestras con evidencias de incendios ajustada con el método 2 y superpuesta al número de series consideradas por año.

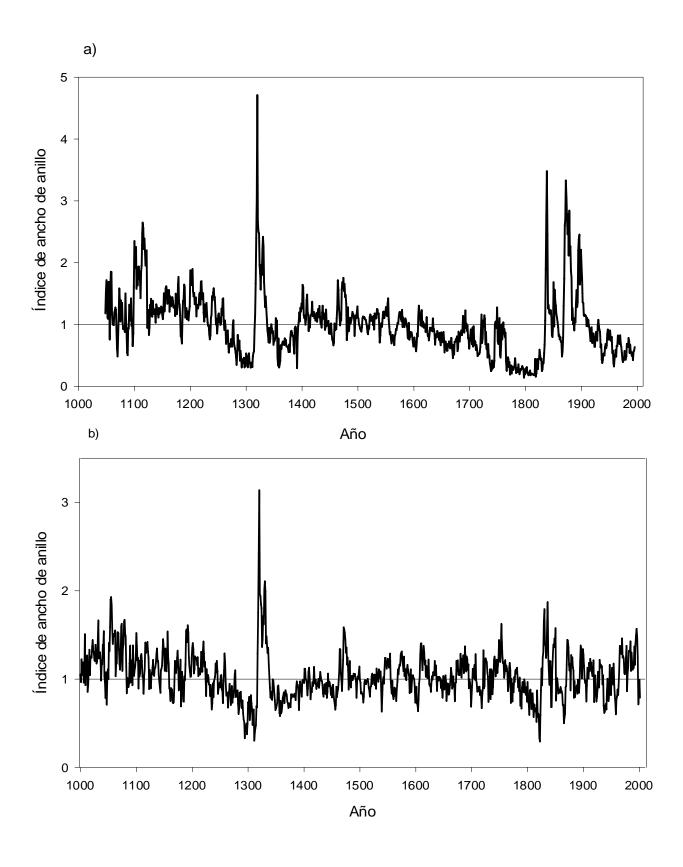
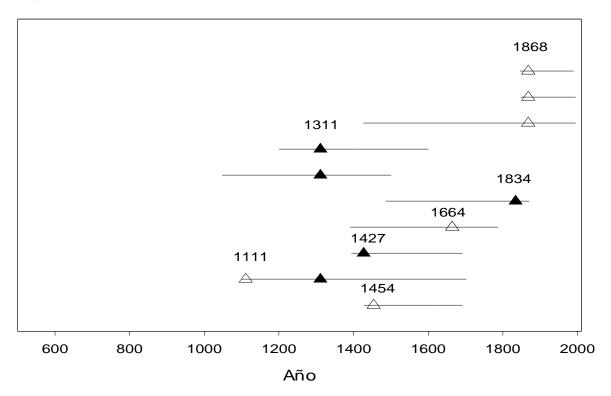


FIGURA 14. a) Cronología Estándar de muestras con incendios ajustada con el método 2 y b) cronología Estándar de la totalidad de las muestras, ajustada con el método 1.





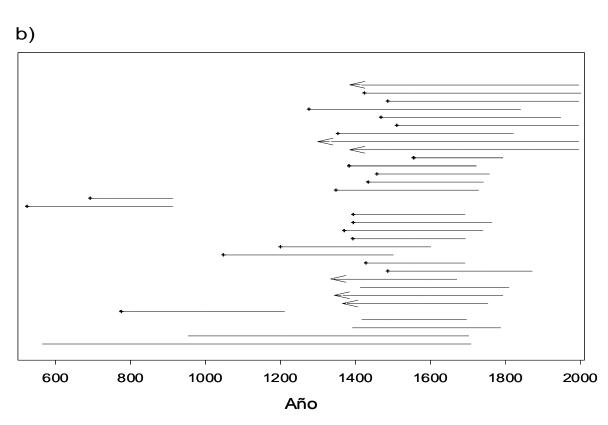


FIGURA 15. a) Cronología de incendios para la zona de Abtao y b) Gráfico de longitud de series, donde series sin símbolo al inicio señalan la presencia de centro, la flecha indica la estimación de la edad total a través de la fórmula de Duncan y la cruz indica inicios de series truncados (los anillos más internos de cada serie).

estipula un máximo de 25 anillos estimados hacia el centro para obtener la edad total. Este método tiene ciertas limitaciones, pues asume que los anillos forman un círculo concéntrico alrededor del centro y que el ancho de los anillos es constante en la parte ausente de la muestra (Kitzberger *et al.* 2000). En los casos en que la estimación fue mayor a 25 anillos o en los cuales no se presentó el centro se consideró sólo la fecha del anillo más interno.

Así también para el caso de las edades finales, es necesario señalar que fueron consideradas sólo las muestras que presentaban un color ceniciento en su parte exterior, evidenciando presentar los anillos más externos. Se debe considerar además, que existe una pérdida de anillos externos por la intemperización a que están sometidos todos los árboles y que en el caso de los árboles muertos se manifiesta en la pérdida total de la corteza y la consecuente pérdida de los anillos más externos. Lo anterior se evidencia aún más, en los árboles que fueron afectados y murieron a causa de los incendios más antiguos.

En la Figura 15, es posible visualizar que la mayor parte de las series (58% del total) presenta su anillo más interno con posterioridad al año 1335, y más específicamente entre el año 1350 y 1450. En el caso específico de las series con centro tres de ellas se presentan en el tramo anteriormente señalado y en el caso de estimaciones realizadas a través de la fórmula de Duncan, es posible ver que excepto una serie, todas presentan su anillo más interno con anterioridad a 1400.

Es necesario señalar que la fecha que indica el anillo más interno en el caso de las estimaciones a través de Duncan y de las muestras con centro, no corresponde al año de establecimiento del árbol, esto porque las muestras no fueron extraídas a la altura del cuello, sino a una mayor, por lo que la edad obtenida en este caso resulta ser mayor que la edad exacta de establecimiento.

De forma de complementar la información concerniente a la sincronía entre el establecimiento y muerte de los árboles dentro del área de Abtao, la Figura 16 muestra un gráfico de frecuencia de individuos que presentan su anillo más interno (*Inner ring*) y su anillo más externo (*Outer ring*) en determinados años (considerando clases de 50 años). En la confección de este gráfico, para la determinación de la frecuencia de muestras con anillos internos, sólo se consideraron las muestras con centro y con edad

total estimada; para la determinación de la frecuencia de anillos más externos, sólo se consideraron las rodelas y cuñas, además de los tarugos que presentaban evidencias de presentar la parte exterior (color ceniciento).

En la Figura 16 se puede observar que el 80% de las muestras presenta su anillo más interno alrededor de los años 1350-1420, así también en el caso del anillo más externo el 70% de las muestras lo presenta alrededor de los años 1700-1800.

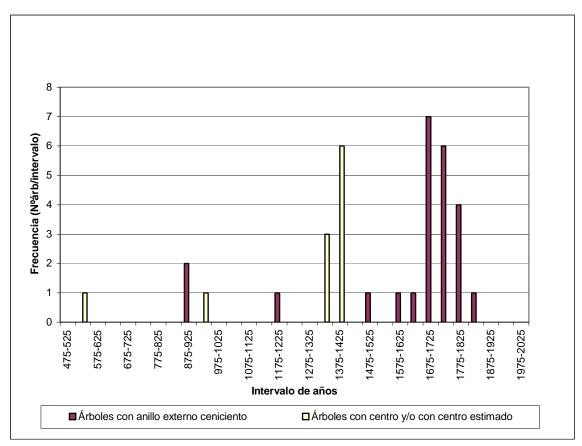


FIGURA 16. Frecuencia de árboles con anillos internos y externos cada 50 años

6 DISCUSIÓN

6.1 Cronología de anchos de anillos desarrollada

La cronología desarrollada corresponde a la tercera de mayor longitud para la Cordillera de la Costa, después de la cronología Pelada y Pabilos, superando la ya existente para la Isla de Chiloé.

En relación a la profundidad de la cronología (Figura 4) es posible señalar que la heterogeneidad en la longitud de las series que componen la cronología, se debe principalmente a que existen diferencias en la proporción de individuos provenientes de árboles vivos y de árboles muertos. Lo anterior, puesto que el mayor número de series (entre 17 y 46 series) proviene de árboles muertos y se presenta entre los años 1350 y 1750, contrastando con las 14 series de árboles vivos, de las cuales 11 se presentan con posterioridad a 1830. Por otro lado en ciertos casos las series no se presentan completas, sino que se encuentran truncadas ya que algunas de ellas sufrieron quiebres durante el proceso de extracción y/o posterior montaje lo que implicó la pérdida de una cierta cantidad de anillos. Lo anterior no permitió su consideración como una sola serie al realizar el cofechado, sino como la cantidad determinada por el número de quiebres.

La correlación promedio de la cronología obtenida mediante el programa COFECHA es de 0.42, valor que resulta ser similar al resto de las cronologías desarrolladas para la Cordillera de la Costa, las cuales fluctúan entre 0.379 y 0.415. Este valor, sin embargo, resulta ser inferior al valor promedio registrado por las cronologías de la Cordillera de los Andes, donde es posible observar que en términos generales las muestras presentan un mayor grado de similitud entre ellas, observándose valores por sobre 0.45, como en el caso de Lenca cuyo coeficiente de correlación es de 0.465.

Con respecto a la correlación por segmentos que evidencia la cronología (Figura 6), se puede decir que presenta sus valores más bajos en el tramo comprendido entre el año 1000 y 1350, lo cual refleja la existencia de un patrón de crecimiento diferente entre los distintos árboles que crecen en el lugar, posiblemente influenciado por la ocurrencia de eventos extra climáticos. Lo anterior se puede ver manifestado, en una mayor medida, alrededor del año 1300 debido a que la cronología está compuesta por series que en ese tramo presentan cicatrices que evidencian grandes supresiones seguidas por

liberaciones, las cuales dificultan el cofechado con el resto de las series que no presentan esta condición y por consiguiente inciden en que se presente una menor correlación.

Los valores de correlación más altos corresponden al tramo comprendido entre los años 650 y 850, donde los valores superan a 0.5 reflejando una gran similitud entre las series. Pese a lo anterior, su valor no tiene tanta relevancia porque el número de series no supera los 10. Por el contrario, resultan más destacables los valores obtenidos entre el año 1350 y 1750, donde la correlación supera los 0.4 y se presentan el mayor número de series dentro de la cronología (entre 17 y 46 series).

Al observar la cronología Estándar obtenida en este estudio (Figura 7), es posible visualizar que en términos generales el crecimiento permanece relativamente constante en torno a la media, exceptuando el bajo índice de ancho de anillo en la primera parte de la cronología, lo cual no se considera significativo dentro del total de la cronología por el bajo número de muestras presentes en ese período (menor a 5 series). Otra excepción la constituyen los dos períodos de supresión seguidos de liberaciones que se encuentran mayormente evidenciados en la cronología. El primero de ellos alcanza su máximo índice de ancho de anillo en el año 1320 y el segundo de ellos en el año 1838. Esta situación refleja claramente la ocurrencia de eventos catastróficos en el área, los que en este caso en particular, corresponden a los incendios ocurridos en los años 1311 y 1834 respectivamente. Por último, el período posterior a 1860 refleja la tendencia a un aumento paulatino en el índice de crecimiento, lo cual evidenciaría la ocurrencia de condiciones ambientales más favorables para el crecimiento de Fitzroya en las últimas décadas. Este último período contrasta con lo observado en la cronología de anchos de anillos ajustada mediante una curva horizontal pues la tendencia es a una disminución en el índice y no a un aumento. Esta condición podría deberse a que la curva de ajuste utilizada no es la que mejor se adecua al patrón de crecimiento manifestado por los árboles en ese período, el cual podría estar mejor representado por una curva exponencial negativa (que evidencia la disminución en el crecimiento debido a la edad).

Al analizar los estadígrafos obtenidos en la cronología, en comparación con las demás cronologías de Alerce seleccionadas en este estudio (Tabla 3), se puede ver que la sensibilidad media de este sitio, se encuentra dentro de los rangos obtenidos para las demás cronologías consideradas en este estudio. Su valor de 0.1325, resulta ser más alto

que el obtenido para Mirador y que el obtenido también para Chiloé, pero más bajo que los obtenidos para Pabilos, Pelada y Lenca. Lo anterior refleja que el sitio de estudio presenta en comparación a los otros sitios aquí considerados, características intermedias para la realización de estudios dendrocronológicos, debido a que los anillos de los árboles resultan ser medianamente sensibles a las condiciones climáticas anuales, estando influenciados también por condiciones locales que afectan el crecimiento.

La influencia biológica que ejerce un año de crecimiento sobre el siguiente queda reflejada por el alto valor de autocorrelación (0.8210) (Tabla 3) que alcanza la cronología desarrollada y que sólo es superada por la cronología Mirador. Lo anterior indica que las condiciones imperantes en un año de crecimiento determinan la cantidad de reservas que los árboles guardan para el año siguiente y por ende influyen en el crecimiento en este último año.

En relación a la correlación media entre árboles (Tabla 3), Abtao presenta una correlación mayor que la presente en Pabilos y Mirador, pero menor que las demás cronologías seleccionadas, incluso que la de Chiloé. Lo anterior implica que en el intervalo común considerado, Abtao posee una mayor igualdad en las condiciones de crecimiento para todos los árboles y que el crecimiento está más determinado por el clima que por factores locales, que los sitios en que la correlación es menor.

Al analizar la varianza contenida en el primer componente principal, el valor obtenido por Abtao (23.75%) (Tabla 3) sólo supera al obtenido por Pabilos, lo cual evidencia que la señal común captada en este sitio no es tan fuerte comparada con las otras obtenidas para la Cordillera de la Costa. Esto puede atribuirse a la influencia de los incendios que afectaron en diferente medida los patrones de crecimiento de los árboles, originando una alta variabilidad entre individuos.

La razón anterior explica además, las diferencias que existen en los estadígrafos entre Abtao y la cronología de Chiloé. Es así como la menor correlación entre árboles existente en Abtao, se presenta porque resulta más difícil que las muestras correlacionen, al considerar series que contengan grandes variaciones en el crecimiento en las zonas donde se ven afectadas por el incendio.

6.2 Comparación con otras cronologías de anchos de anillos

Al analizar la Tabla 4 y realizar la comparación entre cronologías es posible visualizar que existe en promedio una similar correlación con las demás cronologías desarrolladas para la Cordillera de la Costa, el valor promedio decae para el caso de Lenca, pero esto claramente se debe a la diferencia de región geográfica.

Al analizar por segmentos el nivel de correlación se puede observar que en términos generales para todas las cronologías, el nivel de correlación mejora notablemente en el intervalo comprendido entre los años 1525 y 1725, lo cual refleja un patrón común de crecimiento en todas las cronologías. Para el caso de los primeros segmentos analizados, que van desde el año 525 hasta 1325, en general la correlación es más baja y sólo en algunos casos estadísticamente significativa, lo cual refleja una menor similitud en el crecimiento con las otras cronologías consideradas, por la predominancia de factores locales por sobre los regionales. Esto se ve reflejado además en la figura 9, donde sólo la cronología Abtao evidencia la gran liberación ocurrida en torno al año 1320 reflejando la existencia de una alteración que sólo sucedió a nivel de este sitio. En general para el período posterior a 1525, las correlaciones son mayormente significativas lo cual refleja una señal climática más homogénea entre los sitios.

Resulta necesario destacar el hecho de que Abtao se correlacione de una mejor forma con Pabilos, que es el segundo sitio más cercano, que con Chiloé que se encuentra en el mismo sitio. Esto se debe principalmente a la correlación casi nula, cercana a cero, que se presenta entre Abtao y Chiloé en el tramo comprendido entre 1325 y 1525. Esto se podría explicar por la baja cantidad de series presentes en Chiloé en este tramo, la cuál sólo alcanza a 5 series que cubren ese período completo.

Al observar la Figura 9 se puede concluir además, que existe en la todas las cronologías analizadas (excepto en Chiloé) una tendencia común al aumento en el crecimiento en el período posterior a 1950 hasta el presente, lo cual se ve reflejado además en los niveles de correlación observados (Tabla 4) y que denota un patrón climático común a nivel regional que está por sobre las situaciones locales que suceden en cada uno de los sitios.

6.3 Cronología de Incendios

El área de Abtao ha sido afectada desde hace casi 900 años atrás por varios incendios ocurridos en distintas épocas. Con respecto a los incendios registrados en el siglo XIX, es posible afirmar que probablemente las causas pudieron estar vinculadas a la colonización de esas tierras por población ajena a la Isla. Por el contrario, en el caso de los incendios registrados con anterioridad a ese siglo las causas de los incendios podrían ser atribuidas ya sea a la población Huilliche que habitaba el área, o bien a causas naturales, como tormentas eléctricas producidas en períodos estivales. Ambas causas son también mencionadas para este período por Lara *et al.* (1999) y por Lusk (1996) para Cordillera Pelada, dejando en evidencia la dificultad de distinguir entre ellas. Es necesario destacar el hecho de que en el área existe un antiguo sendero utilizado para el tránsito a la Costa, lo cual indica la existencia de una mayor probabilidad de incendios causados por factores antrópicos.

Con respecto a los años en que se produjeron incendios y al analizar las demás cronologías desarrolladas para la Cordillera de la Costa y la cronología Lenca para Los Andes, se pudo establecer que el año 1311 resultó ser singularmente angosto para la cronología Pabilos, Pelada y Lenca. Esto estaría indicando probablemente la ocurrencia de un año con déficit hídrico, debido a una combinación de altas temperaturas y baja precipitación, incidiendo en el menor crecimiento de los árboles ese año y en la mayor probabilidad de registrarse un incendio dadas esas condiciones. Los otros años en que fueron registrados incendios, no presentaron evidencia de un menor crecimiento en las demás cronologías analizadas, por lo que no se puede establecer con claridad si se trató de años en que se registró una condición más seca de lo normal, que incidiera a nivel regional, en un menor índice de ancho de anillo.

La recurrencia de los incendios en el área y su rol potencial en la dinámica de Alerce, se ve reflejado por el intervalo medio entre fuegos (IMF) de 126 años, fluctuando el rango de ocurrencia de incendios entre 27 y 210 años. Este intervalo se obtuvo al considerar tanto los incendios fechados exactamente como los aproximados. Sin embargo, dado que el número de muestras es bajo, sólo debiese ser considerado como una aproximación.

En general, la ocurrencia de incendios extensivos en el clima húmedo donde se desarrolla Alerce en la Cordillera de la Costa, puede ser explicada por la influencia mediterránea que provoca grandes sequías en verano y por la predisposición a inflamarse de esta especie (Lusk 1996).

En relación a la cronología de anchos de anillos y como lo muestra la Figura 13, se puede ver que se presentan claramente liberaciones en el crecimiento en forma posterior a la ocurrencia de un incendio (1311, 1834 y 1868). Esto indica que algunos de los árboles de *Fitzroya* pueden sobrevivir al fuego sacando ventaja de la reducción en la competencia y del incremento en los recursos en el suelo que se produce en forma típica después de ocurrido un incendio (Lara *et al.*1999). Cabe destacar el hecho de que la máxima liberación en el crecimiento no se produce al año siguiente después de ocurrido un incendio, lo cual evidencia un retraso en la respuesta de los árboles a la mejora en las condiciones de crecimiento, dado probablemente por la situación de estrés extrema a que se ven sometidos. Las liberaciones que se observan claramente en el siglo XIV y XIX también se aprecian, aunque en menor medida, en otros siglos donde ocurrieron incendios (años 1111 y 1454). Esta menor evidencia en la cronología se puede deber a que el número de muestras sea insuficiente o a que probablemente los incendios ocurridos no fueron tan extensivos en superficie por lo que no afectaron a una gran cantidad de árboles.

Con respecto a la probable relación existente entre la ocurrencia de incendios y la sincronía entre la muerte y el establecimiento de nuevos individuos (Figuras 15 y 16), es posible afirmar, que probablemente el incendio ocurrido en 1311 fue de mayor severidad en cuanto a intensidad de calor liberado, que los otros eventos registrados en este estudio. Lo anterior por cuanto tiene que haberse producido la muerte de una gran cantidad de individuos para liberar el espacio necesario y permitir el establecimiento de una nueva cohorte. Esta nueva cohorte se refleja claramente en que un 58% de las muestras presentó su anillo más interno con posterioridad a este evento y con anterioridad a 1450. Así también es posible afirmar que cualquiera de los incendios ocurridos en el siglo XIX (1834, 1868) pudo haber provocado la muerte de los individuos aquí representados (Figura 15), pues un 54% de los árboles muertos muestreados se presentan con posterioridad al año 1700 y con anterioridad a la fecha de

los incendios aquí registrados. Otra condición que sostiene lo anteriormente estipulado es que los incendios ocurridos en 1311, 1834 y 1868 son los que se encuentran más claramente representados a través de liberaciones en el crecimiento en la cronología de anchos de anillos del sitio y por otro lado, que el máximo número de series de la cronología se presenta entre la ocurrencia de dichos eventos.

Por otra parte se puede sugerir que los incendios de 1111, 1427, 1454 y 1664 fueron de una menor intensidad pues no se registra en forma evidente la muerte de individuos ni el establecimiento de una nueva cohorte.

Por otro lado existen en el área dos series cuyo anillo más externo se presenta alrededor del año 920 D.C, las cuales, puesto que se produce una pérdida de anillos en la zona externa por efecto de la intemperización, pueden representar árboles que hayan muerto a causa del incendio de 1111.

Del mismo modo anterior, en el caso de los incendios ocurridos en el siglo XIX, no se encontraron individuos cuyo anillo más interno se presentara con posterioridad a dichos eventos reflejando un nuevo establecimiento en el área. Esto se debe principalmente a que el muestreo de árboles vivos se efectuó primordialmente a individuos de diámetros mayores a 30 cm y cuyas edades mínimas sobrepasaban los 500 años.

La situación anterior muestra así mismo, que existen actualmente en el área árboles de más de más de 500 años que pueden no haber sido afectados por alguno de los incendios ocurridos o bien, que lograron sobrevivir a los eventos producidos dada su resistencia y/o la baja intensidad calórica que éstos debiesen haber presentado.

En el anexo 3 se presenta la estructura de edades de árboles muertos obtenida en este estudio sobrepuesta a la estructura de edades de árboles muertos obtenida en un estudio efectuado en el mismo sitio por Lara *et al.*(en prensa). En el presente trabajo no fue posible realizar una extrapolación a nivel de hectárea pues los datos no fueron colectados en una parcela, sino que es el resultado de la colección de información partir de las muestras que integran la cronología. Las edades graficadas, corresponden a edades totales (muestras con centro y estimaciones a través de Duncan) y a edades mínimas, donde fueron consideradas las muestras en que al menos se presentaba un 75% del radio. En ambos casos es posible observar una estructura coetánea del rodal,

estructura que enfatiza la ocurrencia de disturbios en el área. Las edades fluctúan mayormente alrededor de los 350 años, aunque en el caso de la estructura de edades obtenida en Lara *et al.* (1999), fue posible encontrar individuos de una menor edad (entre 150 y 300 años).

En este trabajo no fue posible presentar una estructura de edades de árboles vivos, pues el número de muestras con edades mínimas no superaba las seis. De estas seis muestras la totalidad se presentaba entre los 550 y 750 años.

A partir de la cronología de fuego obtenida, se puede decir que los incendios han jugado un rol importante en el desarrollo de los bosques de Alerce en Chiloé, por lo que la fisonomía que actualmente presentan éstos, debería sus causas fundamentalmente a la ocurrencia de este tipo de eventos en el área.

En términos generales y de acuerdo a los hechos históricos ocurridos en Chile, los incendios ocasionados por el hombre con el fin de eliminar los bosques para el posterior desarrollo de la agricultura o el pastoreo, ha sido la mayor causa de reducción de la superficie boscosa en esta región desde la extensiva llegada de los europeos a partir del año 1850. Si bien su llegada extensiva se produjo hacia la segunda mitad del siglo XIX, ya el año 1748 se hacía la primera advertencia sobre el peligro que estaban corriendo los bosques en esa época, a causa de los incendios provocados por el hombre en su afán de colonizar nuevas tierras (Elizalde, 1970). Como es posible visualizar, en el caso de los incendios que afectaron los bosques de Alerce en Chiloé, esto no constituye una excepción, pero es necesario tomar en cuenta además, que la ocurrencia de estos eventos viene desde el año 1111 D.C y se sucede en la mayor parte de los siglos hacia el presente, lo cual obviamente ha determinado la actual estructura que presentan estos bosques.

Por último, de todas las muestras provenientes de árboles muertos y que fueron procesadas en este estudio, ninguna evidenció la ocurrencia de algún incendio durante el siglo XX. Sin embargo, no es posible descartar la ocurrencia de alguno de ellos en este período, por lo que habría que realizar un muestreo más extensivo para registrar si se encuentra evidencia de ello. Por otra parte, no existen registros escritos sobre la ocurrencia de incendios sino hasta el año 1979, cuando CONAF comienza a

documentarlos, por lo que resulta imposible saber de otra forma si es que efectivamente ocurrió alguno de estos eventos con anterioridad a este año.

6.4 Comparación con otros registros de incendios

6.4.1 Comparación con el registro de incendios de Cordillera Pelada

En el anexo 4 se presenta la cronología de incendios de Abtao sobrepuesta a las dos cronologías de incendios de Cordillera Pelada (Rodal B y Piedra del Indio). En esta figura es posible darse cuenta de que en Abtao no existe, como en el caso de la principal cronología de fuego de la Cordillera Pelada (Rodal B), una gran cantidad de árboles que registran la ocurrencia de un mismo incendio. En este caso sólo fue posible encontrar hasta tres árboles que registraran un mismo evento. Aunque al igual que en el caso del Rodal B, el máximo de incendios encontrados por muestra, fue de dos.

En referencia a lo anterior es necesario señalar, sin embargo, que las muestras fueron colectadas en un área relativamente grande, y no en un rodal específico delimitado por ciertas características en común, lo cual obviamente puede incidir en que no se presenten suficientes muestras que registren un mismo incendio. Lo anterior se explica porque las características de un incendio están fuertemente influenciadas por distintos factores, entre los cuales se encuentran los vientos dominantes en ese momento. Los vientos, entre otras cosas, determinan la dirección del fuego, por lo que influyen en que dentro de una misma área ocurran distintos eventos que pueden no afectar a todos los individuos, sino sólo a algunos.

Al hacer un análisis crítico de la cronología de fuego construida, puede decirse que el número de muestras que conforman la cronología es bajo. Esto se debe fundamentalmente a dos razones, una de ellas es que en terreno no fue posible encontrar un mayor número de árboles que a simple vista presentaran cicatrices de incendios y la segunda a que del total de muestras con cicatrices de incendios extraídas, sólo alrededor de un 70% pudieron ser cofechadas. Con respecto a la primera razón es posible señalar que al realizar el muestreo en terreno, la mayor parte de los árboles se encontraban

muertos, pero no presentaban evidencias visibles de una cicatriz, por lo que muestrear el objetivo resultó difícil.

En relación a la segunda razón (dificultad en el cofechado), es necesario señalar que, en particular, las muestras con cicatrices de fuego resultan más difíciles de cofechar que las muestras que no presentan dichas cicatrices, pues éstas evidencian irregularidades en el crecimiento como supresiones y liberaciones que no se desarrollan en las demás muestras y que por consiguiente dificultan este proceso.

Por otra parte, es posible observar (anexo 4) que en el caso de Cordillera Pelada (Rodal B) se registran incendios ocurridos con posterioridad a los registrados en este estudio, demostrando incluso la ocurrencia de uno durante el siglo pasado, condición que no fue posible constatar en Abtao.

En referencia a la antigüedad de los incendios registrados, la cronología desarrollada muestra que el primer incendio registrado se produjo en el año 1111 (891 años atrás), lo cual determina que este sea el registro del incendio más antiguo que se haya producido en Alerce en Chile, pues el incendio más antiguo encontrado en Cordillera Pelada en el sector denominado Piedra del Indio fue fechado el año 1397 (Lara *et al.* 1999). En esta última cronología se demuestra además, que Alerce es capaz de soportar incluso hasta cuatro incendios de baja intensidad, lo que se evidencia al presentar hasta cuatro cicatrices por árbol.

En referencia a lo anterior, resulta necesario mencionar que en Argentina existe registro de un incendio que afectó un bosque de *Fitzroya cupressoides- Nothofagus dombeyi* ocurrido con anterioridad al de 1111. Este incendio fue fechado el año 990 D.C en el sector de Valle Rayado en la Patagonia de ese país (Veblen *et al.* 1999).

En relación al período de recurrencia de incendios, el intervalo medio entre fuegos para los incendios registrados en Abtao (126 años) fue mayor que para el caso de Cordillera Pelada, puesto que para la principal cronología de esta cordillera y para la de Piedra del Indio el intervalo medio fue de 102 y 71 años respectivamente (estimados a partir de datos proporcionados por Lara *et al.* 1999). Esto señala que de acuerdo a los incendios registrados en cada uno de los sitios, los bosques de la Cordillera Pelada se han visto afectados más frecuentemente por éstos eventos, que los de la Cordillera de Piuché.

Lusk (1996) en un estudio también realizado en la Cordillera Pelada, determinó la existencia de rodales de Alerce cuya edad fluctuaba alrededor de los 300 años, sugiriendo, a raíz de la presencia de restos de carbón en el suelo, que el fuego ha sido la causa de esta estructura coetánea del rodal y que los incendios en general han constituido una importante causa de disturbios, incluso antes de la llegada de los europeos.

Al analizar la situación que se presenta tanto en la Cordillera Pelada como en la Cordillera de Piuché, se puede ver que además del paisaje (árboles quemados y restos carbonizados sobre el piso del bosque), los propios Alerces (a través de cicatrices) registran la ocurrencia de numerosos incendios a lo largo del último milenio y revelan, así mismo, tanto que el fuego ha sido la causa de su extensa mortalidad en estas áreas, como su capacidad para sobrevivir a fuegos de baja intensidad.

Los estudios efectuados tanto en Cordillera Pelada como en la Cordillera de Piuché revelan a su vez, la capacidad de Alerce de responder con un aumento en el crecimiento diametral a la mayor disponibilidad de nutrientes y a la reducción de la competencia que se produce luego de un incendio, lo cual se ve expresado claramente en la cronología de Abtao construida utilizando muestras con incendios y/o liberaciones (Figura 13). Esta cronología denota claramente la liberación en el crecimiento que se produce en forma posterior a la ocurrencia de un incendio y que también se ve expresado en el caso de Cordillera Pelada, donde el mismo patrón se repite luego de los incendios ocurridos en 1876 y 1943 (Lara *et al.* 1999).

Como fue mencionado con anterioridad en este estudio, la ocurrencia de incendios no sólo ha sido un patrón exclusivo de la Cordillera de la Costa. En la Depresión Intermedia existen evidencias en poblaciones jóvenes de *Fitzroya* (con edades que no superan los 360 años), de la ocurrencia de incendios durante los últimos 150 años. Es así como un estudio efectuado por Silla *et al.* 2002 reveló que cinco de ocho sitios estudiados presentaban señales claras de la ocurrencia de incendios, evidenciadas a través de fotografías aéreas, tocones quemados, cicatrices de fuego en árboles vivos y comunicación de los propietarios. Por otro lado este mismo estudio reveló la posterior colonización de esta especie en dichos sitios, conformando rodales coetáneos con una alta densidad de individuos y con una edad que no superaba los 150 años.

El hecho de que el fuego sea la principal causa de mortalidad de los Alerces en la Cordillera de la Costa, es consistente con lo propuesto por Veblen & Ashton (1982), los cuales atribuyen la extensiva mortalidad de Alerce en la Cordillera Pelada a la ocurrencia de incendios. Sin embargo, no resulta consistente con lo propuesto por Heusser (1982, citado por Lara *et al.* 1999) para el caso de la misma cordillera, el cual postula que la mortalidad de *Fitzroya* en esta zona se debe fundamentalmente a la reducción regional en la precipitación, lo cual ha provocado que la abundancia de esta especie haya declinado desde el año 3000 A.P hasta la actualidad.

6.4.2 Comparación con el registro de incendios de *Austrocedrus chilensis* en la Nor-Patagonia Argentina (Kitzberger & Veblen, 1997; Veblen *et al.* 1999)

En el estudio llevado a cabo por Veblen *et al.* (1999) para determinar el rol humano y la variación climática en la historia de los incendios en el norte de la Patagonia Argentina, se determinó el intervalo medio entre incendios (IMF) para el período 1830-1929. Los resultados obtenidos en este estudio son, que para todos los sitios en que dominaba A*ustrocedrus* el IMF variaba entre 3.5 y 17.3 años para todos los incendios. Por otro lado, también se obtuvieron registros sobre bosques de *Fitzroya* para el período comprendido entre 1700 y 1929 donde el IMF fue de 16 y 99 años para todos los incendios ocurridos en dichos bosques.

Resultados similares se encontraron en el estudio efectuado por Kitzberger & Veblen (1997) donde el período de mayor frecuencia de incendios se registró entre 1840 y 1890, disminuyendo considerablemente a partir de 1900.

Al comparar estos estudios con lo ocurrido en Chile a través de Cordillera Pelada y Abtao, se puede establecer que en el norte de la Patagonia Argentina los incendios han influido en forma mucho más frecuente en el paisaje y por ende en la dinámica de los bosques de esa región, que lo que sucede en los bosques de Alerce en Chile. Lo anterior se ve aún más acentuado en el período posterior a 1850, ésto, ya que se produjo una invasión del hábitat boscoso por parte de los cazadores nativos, como consecuencia de la inmigración proveniente del lado chileno estimulada por la colonización europea en el sur de Chile (Veblen *et al.* 1999).

Como se puede vislumbrar, si bien el factor humano es uno de los principales causantes de la ocurrencia de incendios, no se puede obviar que los factores climáticos juegan también un rol importante en ello, sobre todo en el caso en que se produce una ocurrencia sincrónica de eventos en un mismo año en un área extensa. En relación a esto último, en el estudio efectuado por Veblen *et al.* (1999) se encontró, entre otras cosas, que en uno de los sitios donde se desarrollaba Alerce, las temperaturas de verano reconstruidas eran significativamente mayores que el promedio en el año en que se producía un incendio y que la precipitación reconstruida se encontraba bajo el promedio. En el caso de los sitios donde se desarrollaba *Austrocedrus* se encontró que la precipitación anual era significativamente menor al promedio durante el año del incendio y en los dos años anteriores y que además los veranos eran más cálidos que el promedio durante el año del evento. Estas relaciones no han sido estudiadas en forma exhaustiva en Chile, por lo que se requieren nuevos estudios que aborden este tema.

6.5 Regímenes actuales de incendios y la conservación de Alerce

La importancia del fuego en la conservación de *Fitzroya* es mayor en la Cordillera de la Costa y lo fue en la Depresión Intermedia, comparado con la Cordillera de los Andes. Lo anterior se debe en gran parte a que las áreas protegidas se localizan fundamentalmente en esta última área geográfica. El número insuficiente de estas áreas en la Cordillera de la Costa (con menos del 4.4% de la superficie de bosques protegida) constituye una presión extra sobre los bosques en general y contrasta con lo que sucede en la zona andina donde el 17% de los bosques se encuentra protegido dentro de parques y reservas (Lara *et al.* en prensa).

Si bien esta especie se encuentra protegida desde 1976 por el Decreto Supremo 490, esta ley permite la corta y el comercio de madera proveniente de árboles que hayan muerto por causas naturales, por incendios o por cortas, siempre que esto haya ocurrido con anterioridad a 1976 (Lara *et al.* En prensa). Esta falencia en la ley ha permitido y , en cierto sentido, promovido los incendios intencionales con el propósito de obtener madera muerta y así circunscribirse a la parte de la ley que permite su extracción si es que éstos se encuentran muertos desde antes de la fecha estipulada.

Por otra parte, los recursos disponibles de CONAF para la fiscalización no han sido suficientes, además, los Juzgados de Policía Local en la mayoría de los casos no han aplicado las multas solicitadas por esta institución.

En relación a las causas que actualmente provocan los incendios, registros disponibles acerca del origen de éstos en el período 1988-1999, señalan que todos los incendios en la región de Los Lagos son atribuidos a la acción humana, siendo las principales causas las intencionales y las actividades forestales (Lara *et al.* En prensa).

Con respecto a la relación entre los incendios y las variables climáticas, puede establecerse que tres de los veranos más secos producidos desde 1979 a 1999 (precipitación Diciembre-Febrero < 45mm) y que registraron una gran superficie quemada presentaron la ocurrencia del fenómeno de La Niña. Sin embargo, otros veranos secos no mostraron un incremento en la superficie quemada, indicando de esta forma que la ocurrencia de incendios está influenciada tanto por la variabilidad climática como por las causas antrópicas y probablemente por otros factores no identificados aún (Lara et al. En prensa).

Las dimensiones de los incendios provocados en los bosques de Alerce deben ser un motivo de preocupación importante. A modo de ejemplo, en el verano de 1997-1998, caracterizado por ser muy seco, 9744 ha de bosques de Alerce fueron destruidas en la Comuna de Fresia (Lara 2000).

En el caso específico de la Isla de Chiloé, la superficie que cubre el Tipo Forestal Alerce es de aproximadamente 17.300 ha, de las cuales casi el 40% se encuentra dentro del Parque Nacional Chiloé, más específicamente en la parte sur de éste ya que se encuentra dividido en dos áreas (CONAF 1999). Esto implica que más de la mitad de la superficie de Alerce presente en la isla se encuentra desprotegida, lo cual constituye un verdadero riesgo para la ocurrencia de incendios, sobre todo en períodos estivales extremadamente secos donde la probabilidad de ocurrencia se eleva considerablemente.

Adicionalmente, el hecho de que las poblaciones de Alerce sin protección se encuentren en las zonas aledañas al Parque, constituye un riesgo para la superficie boscosa al interior de éste, pues al producirse un incendio en alguno de los predios contigüos existe una alta probabilidad de que éstos se expandan hacia el interior del área,

más todavía tomando en cuenta que en las cercanías de Abtao el resguardo y la protección de guardaparques resulta insuficiente.

La gran recurrencia de incendios en los bosques de Alerce de la Cordillera de la Costa demostrada por el presente estudio y por el efectuado en Cordillera Pelada (Lara et al. 1999), además de la situación observada en la Depresión Central (Silla et al 2002), unidas a la escasa protección de éstos en dichas áreas, señalan la necesidad imperante de llevar a cabo programas de protección y conservación de estos bosques. Lo anterior requiere la adopción de una serie de medidas, entre las cuales se encuentran cambios en la ley que protege la especie, lo cual implica una prohibición de la extracción de maderas muertas, mejoras en la fiscalización de faenas ilegales y mayor severidad en la aplicación de penas para los infractores. Otra de las medidas requeridas para una mayor protección de la especie es la creación de nuevas áreas protegidas o en el caso que resulte factible, la ampliación de las existentes. También resulta indispensable la creación de áreas protegidas privadas que protejan el recurso, pues constituye una buena alternativa para complementar las diversas opciones de conservación.

Lo anterior es particularmente importante en el caso Chiloé, ya que si bien el Parque Nacional constituye la única área protegida de extensión importante (45.000 há) en la Cordillera de la Costa (Armesto 1997), resulta de vital importancia efectuar la unión de las dos partes en que se encuentra dividido actualmente, de modo de poder aumentar la superficie de protección del Alerce y disminuir la alta vulnerabilidad a la que están sometidos todos sus recursos frente a la intervención humana.

6.6 Necesidades de investigación futura

El estudio realizado abre grandes posibilidades para llevar a cabo futuras investigaciones, donde tomando como base los incendios fechados en este estudio se pueda determinar la fecha exacta en que se produce el establecimiento y la muerte del Alerce. Esto debiera realizarse mediante un muestreo con parcelas a nivel de rodal donde se puedan establecer datos cuantitativos de frecuencia de individuos y área basal por hectárea, además de reconstruir las clases de edad existentes, tanto de árboles vivos

como de árboles muertos, y donde se pueda analizar la abundante regeneración que actualmente se presenta en el área.

Por otro lado, son necesarias nuevas investigaciones para comprender de una mejor forma la influencia de las fluctuaciones climáticas en los regímenes de incendios. Esta relación clima-incendios, no ha sido lo suficientemente estudiada en Chile, por lo que se requieren nuevos estudios que establezcan claramente la influencia tanto de las temperaturas y de la precipitación, como la de los distintos forzantes y fenómenos climáticos, como El Niño y La Niña sobre la ocurrencia de incendios en los bosques chilenos. Se requieren además nuevas investigaciones, que establezcan cuál es la incidencia de este tipo de eventos sobre la dinámica de los bosques de *Fitzroya* en la Cordillera de la Costa.

Por último y para determinar qué ha sucedido históricamente con los regímenes de incendios, los estudios futuros debieran considerar la participación e integración de diversas disciplinas tales como Dendrocronología, Dinámica de bosques, Palinología, Paleobotánica y Antropología, entre otras, de modo de poder determinar cuáles han sido los factores asociados a la ocurrencia de incendios en los milenios anteriores y cuáles han sido sus efectos sobre la estructura y dinámica de los bosques existentes.

7. CONCLUSIONES

- Este estudio agrega una nueva cronología a las ya existentes para Alerce con el fin de aportar a la red de cronologías de esta especie, que busca tanto representar mejor los cambios climáticos, como las diferentes historias de perturbación a que ha estado sometida la especie en los distintos sitios.
- La cronología fue desarrollada para el área de Abtao, dentro del Parque Nacional Chiloé, en el área sur de la distribución de *Fitzroya cupressoides* en la Cordillera de la Costa. La cronología tiene una amplitud de 1477 años, siendo 614 años más larga que la ya desarrollada para Chiloé y la tercera más extensa para esta cordillera.
- Los estadígrafos obtenidos mediante el programa ARSTAN, se encuentran dentro de los rangos presentes en las otras cronologías de la Cordillera de la Costa. Las divergencias encontradas con la cronología anteriormente desarrollada para Chiloé, en relación a los menores valores de intercorrelación y varianza contenida en el primer autovector, se deben fundamentalmente a que la cronología Abtao utiliza muestras con cicatrices de incendios lo cual incide en que se resalten las condiciones locales del sitio, por sobre el patrón climático regional de crecimiento.
- La comparación con las demás cronologías de la Cordillera de la Costa y con la de Lenca, permitió constatar en términos generales, un cierto grado de similitud en los patrones de crecimiento de las poblaciones estudiadas, tal como pudo verse en el análisis de correlación entre cronologías, lo cual revela un patrón común a nivel regional. No obstante esta similitud, se presentan diferencias a nivel de sitio las cuales están dadas por condiciones locales atribuidas principalmente a las diferentes historias de perturbación de cada sitio.

- La cronología de fuego obtenida para Abtao evidencia la ocurrencia de incendios en el área desde hace casi 900 años, sucediéndose en gran parte de los siglos hasta el presente con una recurrencia media de 126 años. No todos los incendios pudieron ser fechados en forma exacta y sólo un incendio pudo ser fechado de esta forma en más de una muestra. Además, el máximo número de cicatrices encontradas por árbol, fue de dos.
- El bajo número de muestras que evidenciaban la ocurrencia de un mismo incendio, puede deberse principalmente a que el muestreo de rodelas con cicatrices se efectuó en un área relativamente grande y no en un rodal específico, lo cual determina que se pudieron haber producido incendios localizados que no afectaron a toda el área sino sólo a algunos árboles en particular.
- El ajuste horizontal realizado a la cronología Abtao, resalta la señal de baja frecuencia presente en el sitio. La cronología construida con las muestras evidentemente afectadas por incendios y con ajuste horizontal, demuestra claramente dos períodos de supresión en el crecimiento seguido de liberaciones, las cuales alcanzaron su máximo en los años 1320 y 1838. Dichos períodos se encuentran asociados a la ocurrencia de dos incendios en el área, cuya fecha exacta corresponde a los años 1311 y 1834.
- Al graficar la longitud de cada una de las series que integran la cronología, puede verse que más de la mitad de las muestras presenta su anillo más interno (*inner* ring) alrededor del año 1400 y su anillo más externo (*Outer* ring) entre los años 1700-1800. Lo anterior demuestra que el incendio fechado en 1311 provocó el establecimiento de una nueva cohorte y que los incendios producidos en 1834 y 1868 provocaron la muerte de los individuos que presentan su *Outer ring* alrededor de 1700 y que a causa de la intemperización perdieron los anillos de su parte externa. Otras razones que afirman que la dinámica del rodal estuvo fuertemente regida por dichos incendios, es la presencia de grandes liberaciones asociadas a su ocurrencia y la presencia de la mayor parte de las series que

integran la cronología, entre la ocurrencia de dichos eventos. No se registró el mismo patrón de establecimiento y muerte, asociado a la ocurrencia de los otros incendios registrados, por lo que probablemente éstos fueron de una menor intensidad.

- En relación a la causa de los incendios ocurridos en Abtao, puede decirse que probablemente los incendios fechados en el siglo XIX estarían vinculados a la colonización de esas tierras por población ajena a la Isla. Por el contrario en el caso de los incendios ocurridos con anterioridad, las causas podrían estar asociadas a la población Huilliche que habitaba el área o bien a incendios naturales provocados por tormentas eléctricas en períodos estivales.
- Al comparar la cronología de fuego obtenida con el registro desarrollado para la Cordillera Pelada, es posible concluir que los incendios han jugado un rol fundamental en el establecimiento y desarrollo de los bosques de Alerce en la Cordillera de la Costa desde hace al menos 800 años atrás, lo cual ha determinado su actual estructura y el paisaje característico que se presenta en estos bosques hoy en día. Ambos estudios, revelan así mismo la capacidad de Alerce de sobrevivir a incendios de baja intensidad.
- Al comparar los registros de incendios de Abtao y Cordillera Pelada con los desarrollados principalmente para *Austrocedrus* en la Patagonia Argentina, se determinó que los incendios han ocurrido con una mayor frecuencia en este último lugar (su intervalo medio entre fuegos (IMF) fue mucho menor), produciéndose un gran incremento de éstos en la segunda mitad del siglo XIX y una declinación a partir de 1900. Las causas en este último período fueron atribuidas principalmente al hombre, aunque se estipuló que existían ciertos forzantes climáticos que incidían en su ocurrencia. La incidencia de éstos últimos factores tales como la variación anual en la precipitación y temperatura, además de los fenómenos del Niño y la Niña en la ocurrencia de incendios, requieren de un mayor estudio en Chile.

- En la Cordillera de la Costa la conservación de Alerce se encuentra amenazada por la ocurrencia de incendios, sobre todo porque no existe una suficiente superficie a nivel de áreas silvestres protegidas y porque que la ley permite la extracción de madera si ésta se obtiene de árboles muertos con anterioridad a 1976. Lo anterior determina la vulnerabilidad del recurso ante la ocurrencia de incendios intencionales y determina la urgencia en la toma de medidas de conservación para la especie.
- En el caso específico de Chiloé resulta de fundamental importancia efectuar la unión de las dos áreas en que actualmente se encuentra dividido el Parque, de modo de aumentar la superficie de protección del Alerce. Lo anterior, puesto que más de la mitad de la superficie de esta especie se encuentra desprotegida, lo que constituye un gran peligro para su conservación.
- El presente estudio abre la posibilidad para la realización de nuevas investigaciones, que permitan en base a la cronología de fuego obtenida para el área, determinar exactamente la fecha de establecimiento y muerte de los individuos, además de obtener datos cuantitativos de frecuencia y área basal de individuos vivos y muertos a nivel de hectárea. Sería interesante además, determinar las clases de edad y realizar un análisis exhaustivo de la abundante regeneración que se presenta en la actualidad.
- Nuevas investigaciones que integren diversas disciplinas son requeridas además, para determinar cuáles han sido los factores asociados a la ocurrencia de incendios y cuáles han sido los efectos provocados por éstos en los bosques a través de la historia. La influencia de las variables climáticas en la ocurrencia de dichos eventos, así como en la dinámica de los bosques, también requiere de nuevos estudios.

8.BIBLIOGRAFÍA

Aravena J.C. 1991. Análisis de la estructura y la flora de los bosques de Chiloé continental e insular. Tesis entregada a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al grado de Magister en Ciencias Biológicas con Mención en Botánica, Santiago.

Armesto, J, C. Villagrán & M.K. Arroyo. 1997. Ecología de los bosques nativos de Chile. Segunda Edición. Editorial Universitaria. Santiago. Chile

Boninsegna, JA & L. Holmes. 1985 *Fitzroya cupressoides* yields 1534-year-long South American chronology. Tree Ring Bull. 45:37-42.

CONAF, CONAMA, BIRF. 1999. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales. Santiago.

Cook, E. R. Y Holmes R. L. 1984. User's manual for program ARSTAN. Laboratory of Tree Ring Research, University of Arizona, Tucson.

Diaz, S. 1997. Dendrocronología de Ciprés de las Güaitecas (*Pilgerodendron uviferum* (D. Don) florin) en la Cordillera de los Andes. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Donoso, C. 1981. Ecología Forestal: El Bosque y su Medio Ambiente. Santiago, Chile, Editorial Universitaria.

Fraver, S., M.E. González, F. Silla, A.Lara & M. Gardner, 1999. Composition and structure of remnant *Fitzroya cupressoides* forests of Chile's Central Depression. Journal of the Torrey Botanical Society, 126: 49-57.

Fritts H.C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, New York.

Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-ring Bull. 44: 69-75

Holmes, R. 1994. Dendrochronology program library, User Manual Laboratory of treering research. Tucson, Arizona.

Kitzberger, T & T. Veblen. 1997. Influences of humans and ENSO on fire history of *Austrocedrus chilensis* woodlands in northern Patagonia, Argentina. Ecoscience 4: 508-520.

Kitzberger, T, Veblen. T & R. Villalba. 2000. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. En: F. Roig (ed.). Dendrocronología en América Latina, Mendoza, Argentina, pp. 17-78.

Lamarche, V.C. 1975. Potential of tree rings for reconstruction of past climate variations in the Southern Hemisphere. Proceedings of the WMO/IAMAP Symposium on Long Term Climatic Fluctuations, 21-30, Norwich.

Lara, A & R. Villalba. 1993. A 3620- Year Temperature Record from *Fitzroya cupressoides* Tree Rings in Southern South America. Sciencie 260: 1104-1106.

Lara, A, J.C. Aravena & R. Villalba. 1994a. Alerces, testigos milenarios del clima planetario. Ambiente y Desarrollo, Vol. X-N°4.

Lara, A & R. Villalba. 1994b. Potencialidad de *Fitzroya cupressoides* para reconstrucciones climáticas durante el Holoceno en Chile y Argentina. Revista Chilena de Historia Natural 67: 443-451.

Lara, A, S. Fraver, J.C. Aravena & A. Wolodarsky. 1999. Fire and the dynamics of Fitzroya cupressoides (Alerce) forests of Chile's Cordillera Pelada. Ecoscience 6 (1): 100-109.

Lara, A. 2000. Importancia científica, protección Legal y uso destructivo de los bosques de Alerce (*Fitzroya cupressoides*): Una Contradicción que debe resolverse. En: Bosque Nativo, N° 27. Valdivia.

Lara, A, R. Villalba, J.C. Aravena, 2000. Desarrollo de una red de cronologías de *Fitzroya cupressoides* (Alerce) para Chile y Argentina. En: F. Roig (ed.). Dendrocronología en América Latina, Mendoza, Argentina, pp 217-244.

Lara, A, A. Wolodarsky-Franke, J.C. Aravena, M.Cortés, S. Fraver, F. Silla . En prensa. Fire Regimes and Forest Dynamics in the Lake Region of South-Central Chile. En: Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Américas. (Eds: Veblen, Swetnam and Montenegro). Academic press, pp 316-336.

Latorre, M. 1973. Posibilidades de un estudio dendrocronológico en la especie Alerce (*Fitzroya cupressoides* (Mol). Johnston). Tesis de grado, Universidad Austral de Chile.

Lusk, C.H. 1996. Gradient analysis and disturbance history of temperate rain forest of the coast range summit plateau, Valdivia, Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 69:401-411.

Neira, E.P. 1995. Desarrollo de cronologías para Alerce (*Fitzroya cupressoides*) en las Cordillera de la Costa y de los Andes. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Neira, E & A. Lara. 2000. Desarrollo de cronologías de ancho de anillos para Alerce (*Fitzroya cupressoides*) en Contao y Mirador, Chile. Revista Chilena de Historia Natural 73: 693-703.

Pérez, C, L. Hedin & J. Armesto. 1998. Nitrogen Mineralization in two Unpolluted Old-Growth Forests of Contrasting Biodiversity and Dynamics. Ecosystems 1: 361-373.

Pérez, C, J. Armesto & B. Ruthsatz. 1991. Descomposición de Hojas, Biomasa de Raíces y Características de los Suelos en Bosques Mixtos de Coníferas y Especies Laurifolias en el Parque Nacional Chiloé. Revista Chilena de Historia Natural 64: 479-490.

Rosenblüth, B., H.A. Fuenzalida & P. Aceituno. 1997. Recent temperature variations in southern South America. International Journal of Climatology. 17:67-85.

Schulman, E. 1956. Dendroclimatic Changes in semiarid América. University of Arizona Press. Tucson.

Silla, F. 1997. Dinámica regenerativa del Alerce (*Fitzroya cupressoides*) de la Depresión Intermedia. Tesis de grado presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Magister en Ciencias con mención en Ecología. Universidad Austral de Chile.

Silla, F, S. Fraver, A. Lara, T. Allnutt & A. Newton. 2002. Regeneration and stand dynamics of *Fitzroya cupressoides* (Cupressaceae) forests of southern Chile's Central Depression. Forest Ecology and Management 165: 213-224.

Stokes, M & T. Smiley. 1968. An Introduction to Tree-Ring Dating. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona. USA.

Veblen, T. T. & D. H. Ashton. 1982. The regeneration status of *Fitzroya cupressoides* in the Cordillera Pelada, Chile. Biological Conservation 23: 141-161.

Veblen, T, T. Kitzberger, R. Villalba & J. Donnegan. 1999. Fire History in Northern Patagonia: The Roles of Humans and Climatic Variation. Ecological Monographs, 69 (1): 47-67.

Villalba, R, J. Leiva, S. Rubulis, J. Suarez & L.Lezano. 1990. Climate, Tree-Ring, and Glacial Fluctuations in the Río Frías Valley, Rio Negro, Argentina. Arctic and Alpine Research, Vol 22, N° 3, 215-232.

Wolodarsky-Franke. 2002. Fluctuaciones ambientales de los últimos 1000 años a partir de anillos de crecimiento de *Fitzroya cupressoides* ((Molina) Johnston) en el área del Volcán Apagado, Décima Región, Chile. Tesis de grado presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Ciencias con Mención en Ecología. Universidad Austral de Chile.

RESUMEN

Se desarrolló una cronología de anchos de anillo para Alerce (*Fitzroya cupressoides*) a partir de muestras colectadas en la localidad de Abtao (42°30′; 73°55′), dentro del Parque Nacional Chiloé. La longitud de la cronología alcanzó a los 1477 años, siendo la tercera de mayor amplitud para la Cordillera de la Costa.

Las muestras fueron cofechadas visualmente y posteriormente mediante el programa COFECHA, el cual arrojó una correlación entre series de 0.42. La cronología fue elaborada a través del programa ARSTAN, ajustando en primer lugar cada una de las series a una curva exponencial negativa, regresión lineal o línea horizontal, con el fin de obtener una cronología estándar y compararla con las demás desarrolladas para la Cordillera de la Costa y con la de Lenca en la Cordillera de los Andes. El segundo ajuste realizado corresponde a una línea horizontal con el fin de resaltar las señales de baja frecuencia, como los disturbios exógenos ocurridos en el área.

La cronología arrojó estadígrafos similares a los obtenidos para las demás cronologías de la Cordillera de la Costa, presentando una sensibilidad media superior a las obtenidas para Mirador y Chiloé y una correlación entre series mayor a las obtenidas para Mirador y Pabilos.

A partir de las muestras con cicatrices se construyó una cronología de incendios, la cual evidencia que se han producido incendios en el área desde hace más de ocho siglos atrás. Dicha cronología fue comparada con el registro efectuado para la Cordillera Pelada, llegando a la conclusión que en ambos sitios el fuego ha tenido un rol fundamental en la dinámica de los bosques de Alerce, modelando la actual fisonomía que se presenta en éstos en la actualidad.

La cronología fue comparada también con registros de incendios en bosques de *Austrocedrus* en la Patagonia Argentina, donde se determinó que éstos han tenido una mayor frecuencia en este último lugar y que al igual que en Chile los factores humanos han incidido en la ocurrencia de los mismos. La incidencia de variables climáticas en la ocurrencia de incendios también quedó en evidencia en el caso argentino, pero requiere de un mayor estudio en el caso chileno.

SUMMARY

The aim of this thesis was to develop a tree-ring width chronology for the Coastal Range and try to date fire scars. A 1477-year chronology was developed for Alerce (*Fitzroya cupressoides*) in Abtao (42°30°, 73°55°) within the Chiloé National Park, being the third longest chronology developed for the Coastal Range.

The samples were visually cross-dated and this was verified using the COFECHA program, with a resulting correlation of 0.42. A standard chronology was developed using the ARSTAN program, by adjusting the series to an exponential negative curve, linear regression or horizontal line, so as to be able to compare it with other chronologies from the Coastal Range and with the Lenca chronology from the Andean Range. A second adjustment of the series to a horizontal line was also performed, because this procedure preserves most of the low frequency ring-width variation and is useful to identify exogenous disturbances in the area.

The chronology statistics were similar to the ones obtained for the other chronologies from the Coastal Range. The mean sensitivity was higher than the values for the Mirador and Chiloé chronologies, and the correlation between series was also higher than the results obtained for Mirador and Pabilos chronologies.

Using fire scarred samples, a fire chronology was developed. This chronology indicated that fires have occurred repeatedly over the past 800 years. When compared to other fire chronologies from the Cordillera Pelada, in the Coastal Range, it can be concluded that fires are playing an important role in the dynamics of *Fitzroya cupressoides* in this area, modelling the actual structure and physionomy of these forests.

This chronology was compared also with fire chronologies developed for *Austrocedrus* in the Argentinean North Patagonia. In these forests the frequency of fires was less, and in both places the human factor has influenced in their occurrence. The incidence of climatic variables in the occurrence of fires was better evidenced in the Argentinean case, but more studies are needed in Chile in this respect.

INDICE DE MATERIAS

		Página
1.	INTRODUCCION	1
2.	OBJETIVOS	5
2.1	Objetivos generales	5
2.2	Objetivos específicos	5
3	RESEÑA HISTÓRICA DE LA DENDROCRONOLOGÍA	
	EN CHILE Y ARGENTINA	6
4.	MATERIAL Y METODO	10
4.1	Area de Estudio	10
4.2	Colección de las muestras en terreno	11
4.3	Preparación de las muestras	12
4.4	Desarrollo de la Cronología	12
4.4.1	Cofechado	12
4.4.1.	1 Cofechado visual con Skeleton Plot	14
4.4.1.	2 Medición del ancho de los anillos	15
4.4.1.	3 Programa COFECHA (Holmes 1983)	15
4.4.2	Estandarización	17
4.5	Comparación con otras cronologías de anchos de anillos	20
4.6	Métodos utilizados para el fechado y reconstrucción de disturbios	21
5.	RESULTADOS	24
5.1	Profundidad de la cronología y cofechado	24
5.2	Estandarización	29
5.3	Comparación con otras cronologías de anchos de anillos	34
5.4	Cronología de incendios	37

6.	DISCUSIÓN	47
6.1	Cronología de anchos de anillos desarrollada	47
6.2	Comparación con otras cronologías de anchos de anillos	50
6.3	Cronología de incendios	51
6.4	Comparación con otros registros de incendios	55
6.4.1	Comparación con el registro de incendios de Cordillera Pelada	55
6.4.2	Comparación con el registro de incendios de Austrocedrus chilensis	
	en la Nor-Patagonia Argentina	58
6.5	Regímenes actuales de incendios y la conservación de Alerce	59
6.6	Necesidades de investigación futura	61
7.	CONCLUSIONES	63
8.	BIBLIOGRAFIA	67

INDICE DE FIGURAS

Figur	Figura	
1	Mapa de la distribución de Alerce y del sitio de estudio	4
2	Comparación de secuencias de anillos anchos y estrechos en las series	13
3	Fotografías de una rodela de Alerce con cicatrices de incendios.	
	en su estado natural y después del lijado	23
4	Profundidad de la cronología	26
5	Número de series por año para la cronología Abtao	26
6	Correlación por segmentos de la cronología Abtao	28
7	Cronología de anchos de anillos Abtao ajustada con el método 1	31
8	Cronología de anchos de anillos Abtao ajustada con el método 1	
	y número de series por año.	32
9	Cronologías de anchos de anillos de cada uno de los sitios seleccionados,	
	ajustadas con el método 1	35
10	Correlación de la cronología Abtao con otras existentes para Alerce	36
11	Cronología de incendios para el área de Abtao	39
12	Cronología de anchos de anillos Abtao ajustada al método 2 y método 1	40
13	Cronología de incendios Abtao y cronología de anchos de anillos	
	de muestras con evidencias de incendios, ajustada con método 2 y	
	superpuesta al número de series	42
14	Cronología de anchos de anillos de muestras con evidencias de incendios	
	ajustada con método 2 y cronología de anchos de anillos con la totalidad d	le
	las muestras ajustada con método 1	43
15	Cronología de incendios para la zona de Abtao y gráfico de longitud	
	de series de la cronología	44
16	Frecuencia de árboles con anillos internos y externos cada 50 años	46

INDICE DE TABLAS

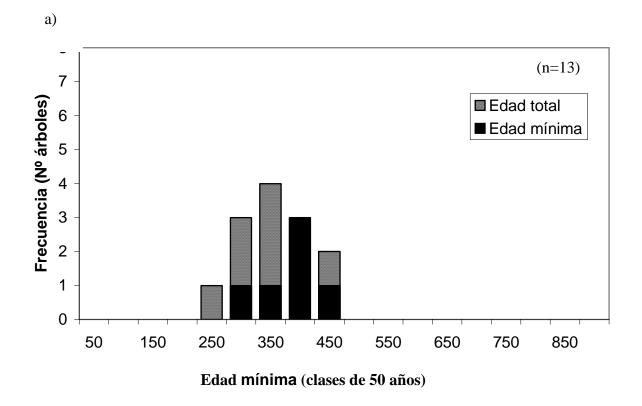
Tabla		Página
1	Clasificación del tamaño de anillos angostos y anchos con su	
	respectivo valor asignado	15
2	Información general sobre las cronologías seleccionadas	25
3	Resumen de los estadígrafos provistos por el programa ARSTAN	
	para las cronologías de F.cupressoides seleccionadas	33
4	Coeficiente de correlación de la cronología Abtao con las	
	ya existentes para Alerce	36

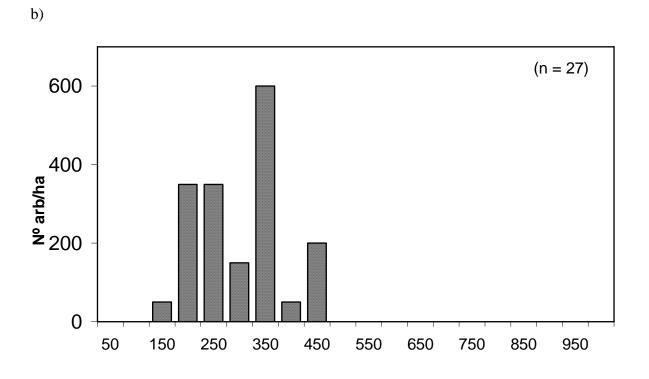
Fotografías del área de estudio, Abtao-Chiloé





Estructura de edades mínimas (>75% radio) a) desarrollada en este estudio y b) desarrollada por Lara *et al.* (en prensa)





Edad mínima (clases de 50 años)

Comparación de cronología Abtao con cronologías de incendios desarrolladas para Cordillera Pelada (Lara *et al.* 1999). a) Cronología de incendios Abtao b) Cronología de incendios Rodal B y c) Cronología de incendios Piedra del Indio.

