



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

**Reconstrucción de 500 años de incendios en bosques de  
*Araucaria araucana* en la primera Área protegida por el  
Estado: Reserva Nacional Malleco, Región de la  
Araucanía.**

Patrocinante: Sr. Ariel Muñoz N.

Trabajo de Titulación presentado como  
parte de los requisitos para optar al Título de  
**Ingeniero Forestal.**

**WALDO ARTURO IGLESIAS ZÚÑIGA**

VALDIVIA

2011

## Calificación del Comité de Titulación

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Ariel Muñoz N.	6,8
Co-Patrocinante:	Sr. Mauro González C.	7,0
Informante:	Sr. Carlos Lequesne	6,5
Informante:	Sr. Duncan Christie	6,6

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



---

Sr. Ariel Muñoz N.

*...Rozo con fuego  
el alto  
nivel  
de los mañíos, el baluarte  
del roble,  
de la ciudad del raulí,  
la rumorosa  
colmena de los ulmos,  
y ahora  
desde las raíces quemadas,  
se va la tierra,  
nada la defiende,  
bruscos  
socavones,  
heridas  
que ya nada ni nadie  
puede borrar del suelo:  
asesinada fue la tierra  
mía,  
quemada fue  
la copa originaria...*

***Extracto Oda a la erosión de la Provincia de Malleco (Pablo Neruda)***

## AGRADECIMIENTOS

Antes que todos se encuentran mi familia quienes lo dieron, lo dan y estoy seguro que lo darán todo por mí. A mi padre, quién aún me demuestra como es ser mejor persona día tras día y a quien sigo como ejemplo de valores y sabiduría. Mi madre, la cual se ha desvelado desde que nací para que no me falte el cariño, la protección y el apoyo para levantarme una y otra vez luego de cada caída. A ellos dos le agradezco de sobremanera porque sin su esfuerzo yo no estaría aquí, lejos de ellos. A mis hermanos, Mónica, quien me facilito muchísimo mi estadía y mis estudios en esta Universidad, y sobre todo por su entrañable cariño y protección; y Juan Pablo, quién me dio ese empujoncito para cortar el cordón umbilical y tomar mis maletas y mi vida a esta hermosa ciudad del sur de Chile, te admiro y espero llegar algún día a ser como tú. También quisiera agregar a mi hermanita Anita por su cariño durante estos últimos años de mi vida y por su apoyo incondicional. Agradezco al amor de mi vida Denise (mía) quien es mi soporte y mi compañera. Ella ha sido quién ha tenido que luchar porque este último paso para ser profesional se haga realidad, por lo que en forma muy especial este trabajo te lo dedico a tí y al ser hermoso que esta junto a nosotros, Violeta.

A mi Patrocinante y gran amigo, que desde que ingresamos a esta Universidad ha sido un gran amigo y apoyo en los estudios y en mi formación como persona, y principalmente porque fue él quien por mucho tiempo me ofreció este tema luego de haber andado juntos por las cordilleras de la Reserva Nacional Malleco entre los bosques quemados de Araucaria, hasta que por fin le hice caso. Además quisiera agradecer en especial a personas que fueron parte de mi formación como profesional, más allá de su participación en este documento: don Bernardo Escobar, don Luis Soto (Arboretum), Mario Moreno, Ricardo Moreno, Jorge Silva; y especialmente, a Cristian Frene y Gerardo Ojeda quienes me enseñaron los que no aparece en los libros, el “aprender haciendo”, el ser primero obrero antes que ingeniero.

Por último agradezco a mis profesores y amigos a quienes admiro desde que entré a la Universidad, Carlos Lequesne y Mauro González, este último quién ha sido un gran apoyo en el análisis de las cicatrices de incendio y en el desarrollo de este documento. Doy gracias, también a Duncan Christie por la revisión de este documento. Además, doy gracias al Laboratorio de Dendrocronología por la prestación de sus instalaciones y equipos para la elaboración de las cronologías de incendios. Realizo un agradecimiento especial al proyecto " Forest fires under

climate, social and economic changes in Europe, the Mediterranean and other fire-affected areas of the world" (FUME FP7- N° 243888). Y bueno, a los que me falte por agradecer, muchísimas gracias.

	Índice de materias	Página
	Resumen	
1	INTRODUCCIÓN	1
2	ESTADO DEL ARTE	3
2.1	Aspectos generales de <i>Araucaria araucana</i>	3
2.1.1	Distribución geográfica	3
2.1.2	Algunas características autoecológicas de la especie	3
2.1.3	El rol del fuego en la dinámica de los bosques de Araucaria	4
2.1.4	Historia de conservación y régimen de incendios en bosques de Araucaria	4
2.1.5	Aspectos Históricos Reserva Nacional Malleco	6
2.2	La dendroecología en la caracterización de regímenes de incendios	8
3	MÉTODOS	10
3.1	Área de estudio	10
3.1.1	Ubicación geográfica	10
3.2	Metodología cronología de incendios	12
3.2.1	Colecta de cicatrices de fuego	12
3.2.2	Procesamiento de muestras	13
3.2.3	Fecha visual y medición de las muestras	13
3.2.4	Fecha de incendios	15
3.2.5	Estadísticos y representación gráfica de incendios	16
4	RESULTADOS	18
4.1	Cronología de incendios	18
4.1.1	Características y profundidad temporal de la cronología de incendios del sector Mortandad (RNM)	18
4.2	Intervalos de fuego	20
4.2.1	Análisis intervalo de fuego compuesto	20
4.3	Algunos antecedentes históricos de la influencia humana en el régimen de incendios en la Reserva Nacional Malleco	21
5	DISCUSIÓN	24
5.1	Régimen temporal de incendios y el efecto de influencia humana	24
6	CONCLUSIONES	26
7	REFERENCIAS	27
Anexos	1 Formulario de terreno para la toma de datos de cicatrices de incendio	
	2 Resultados Análisis Estadístico sitio Mortandad entre el periodo (1581 - 2005). Con Filtros de Todas, $\geq 10\%$ , $\geq 20\%$ .	

## RESUMEN

El conocimiento parcial acerca del rol del fuego en los ecosistemas forestales dominados por *Araucaria araucana*, y la importante influencia del hombre sobre el rango histórico de variabilidad natural de los incendios en estos bosques, dificulta la planificación del manejo y de las medidas de conservación en áreas silvestres protegidas.

Este trabajo busca aportar al conocimiento acerca del régimen de incendios dentro de la Reserva Nacional Malleco (RNM; primera Área Silvestre de Chile (ASP): 1907), reconstruyendo los eventos de fuego en una amplitud temporal mayor a 500 años. Utilizando cicatrices de incendios en árboles de *A. araucana*, se analizaron los patrones temporales de frecuencia de incendios en un sector de la reserva llamado Mortandad. El control del fechado de las series de crecimiento se desarrolló a través del programa COFECHA, asignado un año calendario a cada anillo de crecimiento. Los cálculos estadísticos y las representaciones gráficas se realizaron con la ayuda de los programas FHX2 y FHAES, respectivamente. Adicionalmente se consultó bibliografía de la historia de uso y ocupación de la Reserva Nacional Malleco.

En el sitio Mortandad se encontraron 14 fechas de incendios, de las cuales el primero dató en 1553 y el más actual correspondió al año 2001. Los incendios más relevantes ( $\geq 3$  serie con cicatriz de incendio y  $\geq 20\%$  de árboles registradores) se sucedieron los años 1759, 1827 y 1956. El IMF (Intervalo Medio de Fuego) compuesto del sitio, entre el periodo 1581-2005, indica que existen 82 años en promedio que trascurren entre fuegos sucesivos. Al igual que en otras zonas de la distribución de *A. araucana*, en Mortandad se observó un aumento de la frecuencia de incendios desde el periodo de “colonización Euro-Chilena” (post-1882). Dentro de este último periodo también se pueden reconocer cambios en la frecuencia de incendios entre el periodo en que la reserva fue entregada en concesión agro-ganadera y la posterior supresión de incendios luego de entregada la tuición de la unidad a CONAF (1970).

La reconstrucción de los incendios en el sector Mortandad de la Reserva constituye una importante herramienta para el manejo de estos bosques, más aun considerando que la RNM es la primera área protegida de Chile y la tercera en América. Contradictoriamente, desde la creación de la reserva en 1907 y hasta la creación de CONAF en 1970 se observó la mayor alteración del régimen de fuego. Estos resultados apuntan a tomar medidas preventivas respecto del uso del fuego y de restauración de

zonas fuertemente afectadas en áreas silvestres protegidas, las cuales a pesar de su año de formación podrían tener solo una reciente protección efectiva (< 40 años).

Palabras claves: *Araucaria araucana*, Reserva Nacional Malleco, Régimen de incendios, Cicatrices de incendios.

## 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, diferentes autores han puesto en relevancia el rol ecológico del fuego en los ecosistemas forestales (Agee 1993; Arno 1996; Veblen *et al.* 1999; González y Veblen 2007; Venegas *et al.* 2009). El fuego ha demostrado afectar diversos procesos ecosistémicos, al influir sobre la demografía, los cambios sucesionales, los flujos de nutrientes, y el balance hídrico, tanto en el tiempo como en el espacio (Agee 1996; Syphard *et al.* 2007; Veblen *et al.* 2007). En este contexto, ha sido creciente la necesidad de conocer los regímenes de fuego pasados, y de acuerdo con esto, comprender el rango natural de variabilidad de esta alteración, y la influencia humana como modificador de estos regímenes (Agee 1996; Swetnam *et al.* 1999; Conedera *et al.* 2009).

En ecosistemas boscosos, en donde el régimen de fuego ha sido fuertemente modificado, principalmente por la acción del ser humano, su restauración y posterior manejo depende primeramente del conocimiento tanto de los regímenes naturales como de la relación que existe entre las prácticas culturales de manejo y el fuego (Agee *et al.* 1996; Syphard *et al.* 1997; Castillo *et al.* 2003; Veblen *et al.* 2007; Bowman *et al.* 2009).

Hoy en día existen diferentes técnicas y aproximaciones para reconstruir la historia de incendios en ecosistemas boscosos. Una de ellas, enmarcada dentro del campo de la dendroecología, consiste en reconstruir los eventos de incendios pasados a través del estudio combinado de los anillos de crecimiento de los árboles y de las cicatrices de incendio que quedan en individuos afectados por el fuego. Esta técnica permite conocer la variabilidad del fuego en contextos temporales amplios y con una resolución anual (Swetman *et al.* 1999; Mckenzie 2004; Conedera *et al.* 2009).

La Reserva Nacional Malleco (RNM) constituye la primera área protegida establecida por el Estado Chileno (1907). Esta unidad ha constituido una fuente importante de recursos forestales, tanto para los antiguos habitantes de la precordillera andina de la Región de la Araucanía, como para los posteriores colonos europeos y chilenos que ocuparon la zona. Durante la temporada 2001-2002 esta unidad se vio afectada por un incendio gran escala e intensidad de origen natural, ocasionado por una tormenta eléctrica seca, dañando aproximadamente el 60% de los bosques de *Araucaria araucana* dentro de la reserva, y más de 20.000 ha en conjunto con el Parque Nacional Tolhuaca (CONAF 2002). Este evento, debido a su magnitud, generó una gran atención de investigadores, organismos asociados a

las áreas protegidas y del sector público, ajenos con anterioridad al papel fundamental que tienen los incendios en los ecosistemas de *Araucaria-Nothofagus* (González 2005; González *et al.* 2005; González *et al.* 2010). De acuerdo a González y Veblen (2007) este evento de fuego corresponde al más extensivo dentro de la Región en los últimos cincuenta años.

En este contexto el presente trabajo tiene por objetivo general reconstruir el régimen de incendios en los bosques de *Araucaria araucana* (*Araucaria*) de la RNM, durante los últimos 500 años utilizando cicatrices de fuego presente en los árboles de la especie. Las preguntas que se quieren responder son:

1. ¿Cuál ha sido el intervalo de recurrencia histórica de incendios?, y ¿cómo este intervalo varía según la severidad de los incendios?,
2. ¿Cómo las prácticas antrópicas de uso y manejo del paisaje han modificado el régimen de incendios desde la colonización Euro-Chilena (post-1882)? y
3. ¿Cuál fue el efecto del establecimiento de la Reserva (1907) en el régimen de incendios posterior?

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Aspectos generales de *Araucaria araucana*

#### 2.1.1 Distribución Geográfica

*Araucaria araucana* (Araucaria) es una especie endémica de los bosques templados de Chile y Argentina (Donoso 1998). Se desarrolla tanto en comunidades puras como mixtas, formando bosques cerrados y abiertos dependiendo principalmente de las características ambientales. En Chile los bosques de Araucaria se definen como “Tipo Forestal Araucaria” (Donoso 1981). Este tipo forestal abarca una extensión de 261.073 ha (un 19% del total del bosque nativo), de las cuales sólo 122.709 ha (47%) se encuentran incorporadas al SNASPE (CONAF 1999). En Chile cuenta con una distribución natural discontinua, con dos poblaciones distribuidas en ambas cordilleras (Rodríguez *et al.*, 1983). Por la Cordillera de Los Andes se encuentra desde el volcán Antuco, cerca de la laguna Laja (37° 27'S), hasta el volcán Quetrupillán (39° 40'S), al norte de la Región de los Ríos, entre los 900 a 1.700 m s.n.m. (Donoso 1998; Hechenleitner *et al.* 2005; González *et al.* 2006). Por otra parte, en la Cordillera de la Costa se encuentra una segunda población de menor tamaño, fragmentada en dos porciones, la más septentrional ubicada en La Cordillera de Nahuelbuta (37° 40'S y 37° 50'S), desde los 850 hasta los 1400 m s.n.m., y la más austral en un sector bajo y aislado, denominado comúnmente como “Villa las Araucarias” (38° 26'S a 38° 29'S) a una altitud de 600 m s.n.m. (Donoso 1998). Por la vertiente argentina de Los Andes Araucaria alcanza su rango más meridional en las cercanías del lago Lolog (40° 03'S) (Rodríguez *et al.* 1983; Donoso 1998).

#### 2.1.2 Algunas Características autoecológicas de la especie

Araucaria pertenece a una de las dos especies de la familia Araucariaceae, y debe su nombre a la zona de Arauco, nombre español dado al territorio en que habita esta especie (González *et al.* 2006). Posee una corteza gruesa, alcanzando espesores 15 a 20 cm (Montaldo 1974; Veblen 1982; Heusser *et al.* 1988; Burns 1993). Esto último junto a su habilidad de rebrotar vegetativamente y la capacidad aparente de los conos de proteger a las semillas, evidenciarían la capacidad de esta especie para resistir incendios de gran intensidad (González *et al.* 2006; González y Veblen 2007).

Otra característica importante de la especie es su gran longevidad, pudiéndose encontrar individuos de más de 1.000 años (Burns 1993; Armesto *et al.* 1995; González 2005). Debido a esto los individuos que sobreviven a los incendios se convierten en “archivos ambientales” registradores de la historia de incendios del área (Agee 1993; González *et al.* 2005; Quezada 2008).

### *2.1.3 El rol del fuego en la dinámica de los bosques de Araucaria*

La dinámica y la estructura de los bosques en que se encuentra *Araucaria* están fuertemente relacionadas con el fuego, tanto a una escala de rodal como de paisaje (Aagesen 2004; González 2005; González *et al.* 2005; González y Veblen 2007; Veblen *et al.* 2008). El fuego constituye el principal factor de disturbio en la dinámica de los bosques asociados a esta especie (Burns 1993; González *et al.* 2010). La mayoría de su rango de distribución se encuentra inserto en áreas de gran actividad volcánica, lo que determinaría las diversas adaptaciones al fuego (González *et al.* 2010). La presencia de este disturbio en estos bosques se encuentra datado al menos para los últimos 40.000 años en la región andina sudamericana (Heusser 1988).

El régimen de fuego se describe como una combinación de incendios superficiales de baja y mediana intensidad, e incendios de alta intensidad. Los primeros se presentan con mayor frecuencia y causan menor mortalidad. En cambio, los segundos comprometen seriamente la sobrevivencia del dosel dominante, pero suelen ocurrir con menor frecuencia (González 2005; González *et al.* 2010).

### *2.1.4 Historia de conservación y régimen de incendios en bosques de Araucaria*

A la llegada de los españoles (1550 aproximadamente) se estima que la superficie ocupada por bosques de *A. araucana* era de más 500.000 ha. Antes de estos conquistadores, el pueblo Mapuche-Pehuenche utilizaba el área para desarrollar actividades de caza y pastoreo, además de la recolección de sus semillas (Aagesen 1998; Neira 2004; González 2005). El fuego, durante esta etapa era utilizado corrientemente para la caza del guanaco, o bien para rozar y luego talar algunos sectores de bosque. Estos sitios eran utilizados para agricultura, que luego de agotada la fertilidad del suelo se abandonaban, para trasladarse a otro sitio (González 2005; Otero 2006; Quezada 2006). Posteriormente, con la introducción de ganado europeo por parte de los españoles, y de la adopción de nuevas prácticas (culturales y económicas) por parte del pueblo indígena, es presumible que el régimen

de incendios haya variado, aumentando la ocurrencia de incendios por parte de las tribus nativas, producto de una mayor apertura de corredores en la vegetación y de producción de forraje (González 2005). Todo esto hasta las primeras décadas del siglo XIX en que el territorio al sur del Bío Bío se encontraba en poder de las tribus originarias (Neira, 2004).

A mediados del siglo XIX, luego de la guerra de Arauco, mal llamada “pacificación de la Araucanía”, ocurrida entre 1881-1891 (Otero 2006) comienza el proceso de colonización euro-chilena, periodo que se desarrollo en cinco fases, entre los años 1850 a 1950. La colonización de la zona de la “Frontera”, correspondiente a la tercera fase, se efectuó entre los años 1882 y 1901 (González *et al.* 2005; Otero 2006). Hasta esta región llegaron españoles, belgas, franceses, italianos, alemanes y suizos (Otero 2006). Este suceso generó un aumento en los incendios de origen antrópico. El fuego fue utilizado para habilitar y mantener zonas de pastoreo. También en variadas oportunidades se utilizó para facilitar las tareas de maderero dentro de los bosques, o bien terminadas estas faenas convertirlos en áreas para la agricultura y la ganadería (González 2005; González *et al.* 2006; Otero 2006; Quezada 2006; González y Veblen 2007). Por su parte, la construcción del ferrocarril dentro de la segunda mitad del siglo XIX generó un aumento del uso del fuego para la explotación de los recursos naturales (Alliende 2001; Otero 2006).

Desde finales del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX se justificaron los grandes incendios bajo el argumento de la creación del “granero de América”. Todo esto producto de la fiebre del oro en California y Australia. Este período tuvo su mayor auge entre los años 1865 y 1926. Luego de la quema del bosque, se aprovechaban los suelos enriquecidos con cenizas y materia orgánica acumulada durante miles de años (Otero 2006).

Se estima que entre los años 1920 y 1970 el área cubierta por Araucaria se redujo en un 50% aproximadamente (254.000 ha), principalmente debido al efecto del roce para la habilitación de tierras agrícolas y ganaderas, además de faenas de maderero no controladas (Lara *et al.* 1999). Muchas de estas prácticas se iniciaron a raíz de concesiones entregadas tanto a empresas extranjeras como nacionales desde inicios del siglo XX hasta aproximadamente la década de 1960 (Neira 2004; González *et al.* 2006; González *et al.* 2010).

Debido a la alarmante sobreexplotación y degradación de los bosques de Araucaria durante los siglos anteriores, se prohíbe su aprovechamiento a partir de 1976 y se le confiere el estatus de Monumento Natural (D.S. 29, 1976). No obstante aquello, y debido a permanentes presiones de propietarios con este tipo de bosques, en 1987 el Ministerio de Agricultura promulga el Decreto Supremo 141 que autorizaba la explotación de la especie, bajo el control del Servicio Forestal Chileno. Durante este período se generó una explotación sin respetar ninguna consideración silvícola expresada en dicho decreto supremo, tanto por falta de conocimientos básicos sobre la especie como por no contar con estrategias claras de manejo. Debido a ello en 1990 se repuso nuevamente su condición de Monumento Natural, producto principalmente de presiones de los grupos indígenas pehuenches y del movimiento conservacionista (Rechene *et al.* 2003; González *et al.* 2006; González *et al.* 2010). Para el año 1989 la especie es incluida en el libro rojo de la flora terrestre de Chile, bajo la clasificación de especie vulnerable (Benoit 1989). Luego, a inicios de la década del `90 la especie es protegida oficialmente por los gobiernos de Chile y Argentina con su inclusión en el Apéndice I de la Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

En la actualidad una gran proporción de las poblaciones de Araucaria araucana (130.579 ha) se encuentran protegidas dentro de Parques y Reservas Nacionales. Sin embargo tanto dentro como fuera de estas áreas de protección la especie presenta fuertes presiones promovidas por el ser humano, tales como el pastoreo, roce con fuego, recolección de semillas y esporádicamente extracción de madera (González *et al.* 2006).

### *2.1.5 Aspectos Históricos Reserva Nacional Malleco.*

Los terrenos que conforman la Reserva Nacional Malleco tienen su origen en las expediciones militares realizadas por el ejército nacional hacia el año 1882 y 1883. Estas expediciones buscaban controlar el apropiamiento engañoso e ilegítimo de tierras pertenecientes a mapuches o al Fisco, y asegurar esta zona del país agitada por las correrías de los indígenas en ambas franjas de la Cordillera (Neira 2004).

A partir de 1889 el Estado decide hacer productivas las tierras australes por lo que saca a remate los talajes presentes en ellas, iniciándose así un proceso de licitación de terrenos. Esto debido a su

imposibilidad de enajenación, por no haber sido mensuradas ni divididas, situación que presentaron terrenos dentro de la futura reserva como en predios colindantes (Neira 2004). Estas licitaciones o alquileres debían concluir cuando el Estado así lo determinase, para conferirle otros usos u objetivos. Es así como el 30 de Septiembre de 1907, mediante el D.S. 1540, del Ministerio de Relaciones Exteriores, los arrendamientos mencionados anteriormente concluyeron, al establecerse la Reserva Forestal Malleco, creándose de esta manera la primera área protegida por el Estado Chileno, primera en Sudamérica, la tercera en América y la novena a nivel mundial. Esta unidad tuvo una superficie inicial de 33.690 ha y su objetivo principal era el de regularizar el comercio de madera y conservar la vida de determinadas especies arbóreas (CONAF-ONF 1998; Neira 2004).

Entre los años 1907 y 1920 se concesionaron algunos terrenos, que correspondían a sectores despejados y de praderas naturales, que se entregaban principalmente para el talaje. Durante los años 1920 y 1966 estas concesiones de talaje pasaron a ser, además, de carácter maderero, en los cuales se entregaban a numerosos particulares alrededor de 500 ha de lotes boscosos en zonas de difícil acceso. Durante estas actividades el fisco se reservaba un 30% de la producción (CONAF-ONF 1998; Neira 2004).

A partir del año 1962 y hasta 1970 se produjo una colonización de terrenos dentro de la Reserva. Los colonos originalmente fueron trabajadores de las distintas concesiones para las faenas de explotación. A través del tiempo fueron creando verdaderos villorrios para sustentar las faenas, alcanzando a constituirse en más de 170 vecinos. Por esta razón en 1962 comenzaron a entregarse títulos de dominio, dentro del marco de una naciente reforma agraria (CONAF-ONF 1998; Neira 2004).

En estas instancias el bosque fue explotado, y luego sus desechos quemados, para así dar paso a terrenos para la agricultura y la ganadería. Desde ese tiempo existe una conducta social de los vecinos para utilizar el fuego en la mantención de las praderas de altura, quemando sistemáticamente esas zonas. De acuerdo con un informe elaborado por FAO en 1952, los incendios habrían destruido la mayor parte de los recursos originales de la Reserva hacia el año 1950 (CONAF-ONF 1998).

En la Década del `70, con la creación de la Corporación Nacional Forestal, se acaba definitivamente el sistema de concesiones dando un giro más conservacionista y de investigación de los

terrenos de la reserva. Es así como se desarrollan distintos ensayos con especies exóticas (aunque existen experiencias desde 1930) y reforestaciones en distintos sectores (CONAF-ONF 1998; Neira 2004). En 1985 se produce una última desafección de terrenos al destinar 2.670 ha para incorporarse al Parque Nacional Tolhuaca (CONAF-ONF 1998). En 1998 se elabora un Plan de Ordenación Forestal en la Reserva, en conjunto entre CONAF y Office National Forest (ONG Francesa) (CONAF-ONF 1998).

En la actualidad la unidad se encuentra bajo la gestión directa de CONAF, que articula bajo la modalidad de mediería con presupuesto de proyectos de gestión PROGES más un conjunto de proyectos FNDR y la participación de empresas privadas, buscando la recuperación de esta Reserva.

## **2.2 La Dendroecología en la caracterización de regímenes de incendios**

La determinación del régimen de incendios es de alta relevancia para poder caracterizar sus principales atributos, y sus efectos como modelador del paisaje, y por lo tanto sus consecuencias en la dinámica sucesional de un ecosistema. En este sentido la determinación de factores como el tamaño, severidad, frecuencia, y distribución de estos eventos es de alta relevancia para su caracterización (Swetnam *et al.* 1999; Conedera *et al.* 2009).

Existen diferentes métodos de reconstrucción de incendios pasados, los cuales utilizan técnicas como el magnetismo, la geoquímica, el análisis de sedimentos tanto de polen como en algunos restos de carbón y microfósiles en lagos y pantanos, la dendroecología, los registros arqueológicos y documentación oral y escrita (Swetnam *et al.* 1999, Mckenzie 2004; Kitzberger *et al.* 2000; Conedera *et al.* 2009). Todas estas técnicas presentan ventajas y desventajas, principalmente relacionadas con la resolución temporal y espacial que puedan entregar. Algunas por ejemplo, como los sedimentos de carbón contienen la historia que pueden exceder los 10 mil años y abarcar una superficie similar a la de un continente como África, pero la precisión del fechado de incendios presenta valores relativos, con una resolución temporal gruesa (como mínimo unos 10 años). En contraste se encuentra la utilización de árboles quemados, los que cuentan con una resolución espacial menor (o muy cercana a la aproximación anterior con la utilización de series compuestas de distintos sitios), pero con una resolución temporal aproximada de un año y con la capacidad de poder delimitar la ubicación de los incendios con mayor exactitud. Por lo anterior, diferentes autores recomiendan el uso combinado de las

diferentes aproximaciones lo que resulta en una mayor y mejor precisión en la determinación del historial de incendios de un sitio determinado (Swetnam *et al.* 1999, Mckenzie 2004; Conedera *et al.* 2009).

La datación de marcas o cicatrices que persisten en los individuos, como técnica dendrocronológica, permite realizar un fechado de estos incendios y reconstruir el régimen de este disturbio. Esta técnica se basa en que el efecto del fuego destruye parte del cambium de un lado del fuste en los individuos, dejando al individuo vivo (Kitzberger *et al.* 2000). Así los incendios generan heridas que se ubican en la parte baja del tronco, y en la madera se pueden encontrar como marcas discretas en los anillos de crecimiento. Después del fuego frecuentemente ocurre una respuesta abrupta de crecimiento (liberación) y se genera un callo de cicatrización (Smith y Sutherland 2001). La colecta de estas cicatrices pueden provenir tanto de árboles vivos como de individuos o tocones muertos (Kitzberger *et al.* 2000). Cuando un individuo ha sido perturbado por un incendio se transforma en un árbol registrador, esto por presentar susceptibilidad a ser afectado por eventos posteriores al quedar con un menor espesor de corteza en la zona de cicatrización (Agee 1993). En Araucaria, y en algunas otras especies esta técnica presenta algunas limitaciones y desventajas, tales como que individuos de avanzada edad presentan pudrición central, pérdida de información producto de incendios sucesivos y el no registro de algunos incendios, por presentar distintos estados de sensibilidad al fuego, dependiendo del estado de desarrollo del rodal o de los individuos (Kitzberger *et al.* 2000; Van Horne y Fulé 2006). Finalmente se debe agregar que los incrementos significativos en el ancho de anillos disminuyen al sobrepasar el estado juvenil al tornarse más resistente al fuego (Burns 1993).

### 3. MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudio

##### 3.1.1 Ubicación Geográfica

La Reserva Nacional Malleco ( $38^{\circ}7'$  y  $38^{\circ}10'S$ ;  $71^{\circ}43'$  y  $71^{\circ}49' O$ ), se ubica en la Región de La Araucanía, provincia de Malleco, comuna de Collipulli, a 180 km de la ciudad de Temuco. El presente estudio se desarrolló en el sector denominado “Mortandad” (MRT) (Figura 1), que se caracteriza por una topografía abrupta con exposiciones principalmente N y NW.

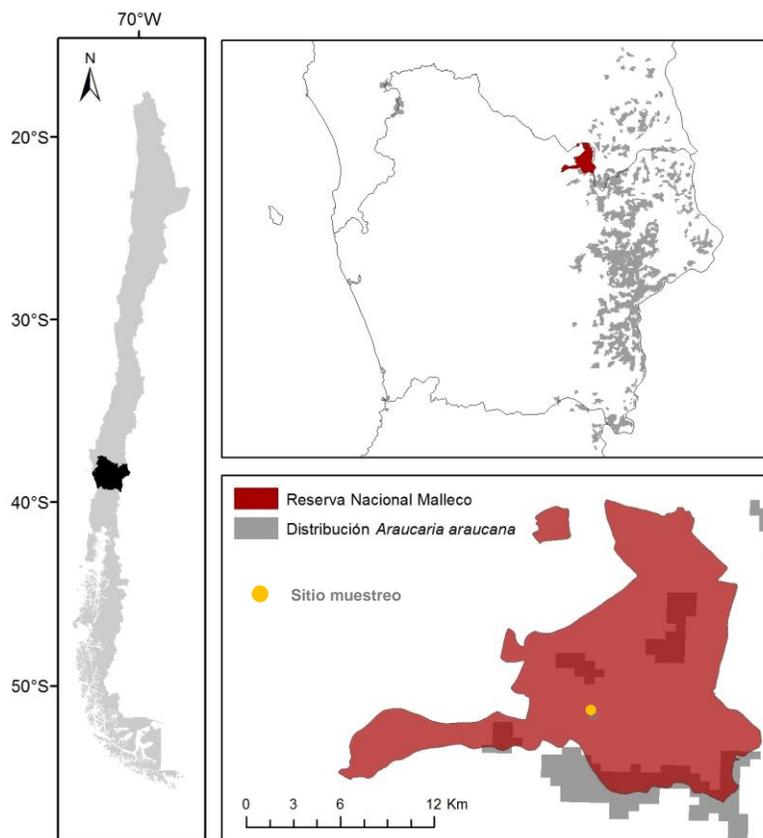


Figura 1. Ubicación de Reserva Nacional Malleco y sitio de muestreo, el cual se ubica a los  $38^{\circ} 7' S$  entre los 1290 y 1630 m s.n.m.

La RNM, con una superficie de 16.625 ha, está inserta en la zona contigua a la cadena occidental de la Cordillera de Los Andes. Su topografía es irregular, con gran cantidad de cerros y montañas, con

elevaciones que van desde 1.000 a 1.988 m s.n.m. El paisaje es el resultado de dos procesos geomorfológicos de relevancia: el volcanismo cuaternario (cenizas, escorias y lavas) y las glaciaciones, a través del transporte y erosión (CONAF-ONF 1998).

Dentro de la reserva se pueden encontrar dos tipos de climas según la clasificación de Köppen (CONAF-ONF 1998). En sectores de menor altitud predomina el clima templado-lluvioso, con menos de cuatro meses secos. Las precipitaciones fluctúan entre 2.000 y 3.000 mm, la máxima temperatura media estival es de 25 °C, y la mínima alcanza los 8 °C, aunque en invierno la mínima temperatura puede presentar valores inferiores a los -8 °C. Por su parte en zonas de altas elevaciones, sobre los 1000 m s.n.m. se encuentra el clima de hielo, con precipitaciones que varían entre los 4.000 y 5.000 mm. Entre los períodos de mayo a octubre se producen nevadas frecuentes, que se acompañan por bastante lluvia y bajas temperaturas. Las temperaturas promedio máxima y mínima son de 4 °C y por debajo de los -7 °C, respectivamente (CONAF-ONF 1998).

Los suelos son derivados de cenizas volcánicas recientes, depositadas sobre la roca madre del tipo basáltica y andesítica. Se describen varios tipos de trumaos, entre los que destacan los “de pendiente” y los “de prado”, los que representan casi la totalidad de los suelos de la Reserva. Estos se caracterizan por ser profundos, con baja pedregosidad, riqueza y fertilidad no limitantes. Presentan una estructura que permite tanto una buena capacidad de retención de agua, como de un drenaje interno adecuado, que favorecería el desarrollo de microfauna. Aún así cuentan con limitaciones de acuerdo a la erosión, ya que existe una gran desecación durante el periodo estival. Además hay que agregar que son muy sensibles a la falta de vegetación y al pisoteo (CONAF-ONF 1998).

La vegetación dentro la RNM es muy variada ya que presenta niveles altitudinales y exposiciones de alta heterogeneidad. Un 80% de la superficie de la Reserva esta cubierta por bosques nativos, de los cuales un 54% corresponde a bosques adultos y un 26% a renovales. Esta área se inserta dentro de las regiones ecológicas del bosque caducifolio y bosque andino-patagónico (Rovira *et al.* 2006). Presenta cinco de los doce tipos forestales del país (Donoso 1981). Los bosques predominantes corresponden a los tipos forestales Roble-Raulí-Coigüe y Araucaria. Además, dentro de la unidad se han desarrollado ensayos de establecimiento e introducción de especies exóticas tales como: *Pseudotsuga menziesii*, *Cupressus lusitánica*, *Pinus muricata* y *Pinus pinaster*, entre otras; establecidas principalmente entre los años 1935 y 1985 (CONAF-ONF 1998).

## 3.2 Metodología Cronología de Incendios

### 3.2.1 Colecta de cicatrices de fuego

Se colectaron muestras de cicatrices de incendios de individuos de *A. araucana* en el sitio Mortandad en dos oportunidades, en los años 2004 y 2006.

En cada uno de los sitios se recorrió el área en busca de individuos de *Araucaria* con evidencias de haber sido afectados por incendios. Estas evidencias correspondieron a cicatrices en forma de “V” invertida en la base de los árboles, con un mayor ancho en la parte baja y angostándose a medida que asciende en el fuste, además de restos de carbón en la zona dañada (Figura 2). Se evaluó en cada uno de estos casos el grado de pudrición central de los individuos, desechando aquellos en los cuales este proceso se encontraba en estado muy avanzado.



Figura 2. Cicatriz en forma de “V” invertida, evidencia típica de incendio en individuos de *A. araucana*.

En árboles de *Araucaria* seleccionados por sus evidencias de haber sido afectados por el fuego (cicatrices de incendio) se extrajo una sección transversal en la zona de la cicatriz de incendio. Para este efecto se procedió, con la ayuda de una motosierra, a realizar dos cortes horizontales de forma paralela, con una separación entre ellos de 1 a 3 cm aproximadamente, para luego con un cincel y

haciendo palanca proceder a liberar la sección de madera (Figura 3). De acuerdo con diversos autores esta técnica de extracción es menos invasiva, minimizando el daño en los individuos seleccionados, por lo que permite muestrear tanto árboles muertos como vivos (Arno y Sneck 1977; Kitzberger *et al.* 2000).

Adicionalmente a cada individuo seleccionado al que se le extrajo una muestra, se le midió el DAP y se determinó su condición de árbol vivo o muerto, registrando también su ubicación geográfica (por medio de un GPS “Sistema Posicionamiento Global”), la altura que alcanzaba la cicatriz, la orientación cardinal hacia donde estaba expuesta la cicatriz, además de la exposición, pendiente y elevación del terreno, tal como se muestra en el formulario tipo (Anexo 1). Cada muestra fue etiquetada con un código alfanumérico correlativo, indicando el nombre del sitio de muestreo, el número de la muestra y el año de colecta. En el caso de que la muestra se fraccionara durante el proceso de extracción, estas secciones se identificaron con un símbolo característico, y en cada una se anotó el número de cicatriz y la nomenclatura del sitio, si era posible de acuerdo a su tamaño.

### *3.2.2 Procesamiento de muestras*

Las muestras se secan a la sombra, uniendo a continuación las partes que se fragmentaron durante la extracción en terreno. Posteriormente se lijan comenzando con lijas de grano grueso (devastación y emparejamiento) para luego, gradualmente, ir utilizando lijas de granos más finos (pulido). La finalidad de este método de lijado es lograr una buena visibilidad de los anillos de crecimiento y apreciar con mayor claridad la ubicación exacta de la cicatriz de incendio (Arno y Sneck 1977; Stokes y Smyles 1996; Van Horne y Fulé 2006)

### *3.2.3 Fechado visual y medición de las muestras*

Cada muestra fue fechada visualmente con una lupa binocular 40 x 15, usando la nomenclatura común en dendrocronología, marcando en cada serie de crecimiento una década con un punto, medio siglo con dos puntos y un siglo con tres puntos (Urrutia 2004; Quezada 2007). Se utilizó la convención de Schulman (1956) para definir el año calendario aplicable en el hemisferio sur, dado que la estación de crecimiento de los árboles se encuentra en dos años calendario. A partir de esto, a cada anillo de crecimiento se le asignó el año calendario correspondiente al año en que comenzó su crecimiento.



Figura 3. Procedimiento extracción de muestras en cicatrices de incendio de *A. araucana*. a) y b) Cortes paralelos con motosierra; c), d) y e) extracción con cuña; f) muestra extraída y verificación de la extracción total de la muestra.

El ancho de anillos se midió con la ayuda de un dendrómetro marca Velmex Inc, con una precisión de 0,001mm. Este instrumento cuenta con un carro de desplazamiento que traslada la muestra de forma horizontal para ser visualizada por una lupa binocular 40 x 15. Conectado a este carro se encuentra un avanzado sistema de lectura digital para la realización de mediciones de un solo eje en niveles muy altos de precisión y exactitud (Quadra-Chek<sup>®</sup> 10), que permite registrar el avance del carro al medir cada ancho de anillo y posteriormente generar un enlace con un computador personal, en donde se guardan las mediciones en formato Tucson.

### 3.2.4 Fechado de incendios

Para el fechado de los incendios se construyó una cronología de ancho de anillos con árboles no afectados visualmente por incendios en el Parque Nacional Tolhuaca (contiguo a la RNM). La cronología fue extendida con series de crecimiento de cronologías desarrolladas en sitios cercanos a la RNM por distintos grupos de investigadores desde el año 1974 (Cuadro 1). Las características de esta cronología se pueden apreciar en el Cuadro 2. La confección de la cronología consideró procedimientos comúnmente utilizados en dendrocronología, donde las series fueron cofechadas y estandarizadas utilizando los programas COFECHA y ARSTAN (Cook y Holmes 1984).

Cuadro 1. Características de las cronologías utilizadas en la construcción de la cronología compuesta

<b>.Sitio</b>	<i>Lat S</i>	<i>Long O</i>	<b>Año inicio</b>	<b>Año termino</b>	<b>EPS &gt;0.85</b>	<b>Fuente</b>
Tolhuaca	38,30	71,70	1250	2007	1610	Lab. Dendrocronología UACH
Piedra del Águila	37,83	73,03	1239	2009	1415	Holmes (ITRDB); Lab. Dendrocronología UACH
Colorado	37,41	71,60	1608	2002	1760	Lab. Dendrocronología UACH
Las Nalcas	38°20`	71°21`	1375	2002	1530	Holmes <i>et al.</i> (ITRDB)

Cuadro 2. Características de la cronología compuesta

Característica	valor
Nº series datadas	105
Serie Maestra (1254 – 2002)	749 años
Nº Total de anillos en el total de series	26327
Intercorrelación entre serie	0.488

Posteriormente, se utilizó esta cronología compuesta para cofechar (datación cruzada) cada una de las muestras de cicatrices de incendios, determinando un año calendario a cada uno de los anillos y estableciendo además la fecha de incendio a través de la identificación visual de la marca del fuego que queda en los anillos (tips) (Figura 4). El cofechado de las cicatrices de incendio también se desarrolló a través del programa COFECHA (Holmes 1983). Aquellas muestras en las cuales se presentaron paquetes de microanillos imposibles de visualizar y medir, o de anillos faltantes, fueron cofechadas a través de segmentos, como “muestras flotantes”. Estos efectos sobre la madera son producto de severas

supresiones por daño. Las muestras de árboles muertos fueron ingresadas de igual forma al programa, con un año de inicio cero, para luego ser corregidas (Kitzberger et al. 2000).

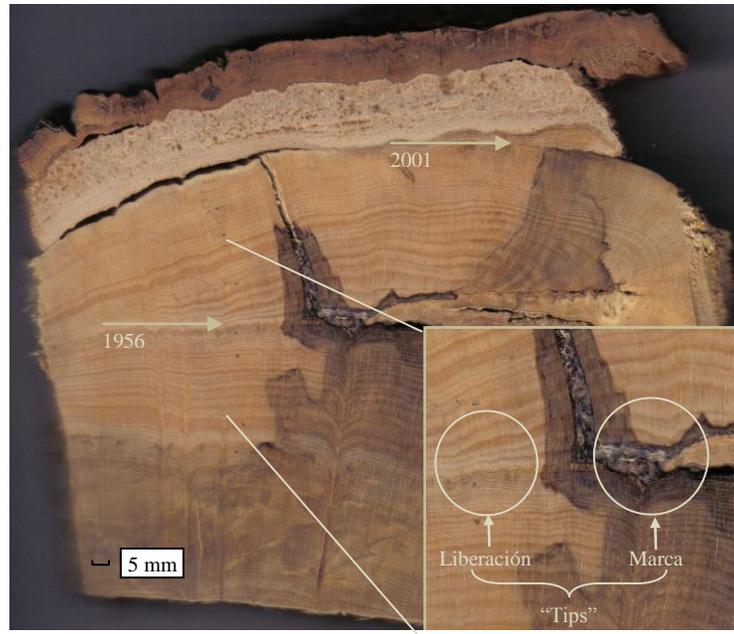


Figura 4. Cicatrices de incendios en individuo *A. araucana* en el año 1956 y 2001. En la imagen aumentada se aprecia el “tip” y la liberación del crecimiento luego del incendio.

### 3.2.5 Estadísticos y representación gráfica de incendios.

Luego de la determinación de las fechas exactas de incendio los registros se ingresaron al programa FHX2 y FHAES (Grissino-Mayer 1995), en los cuales se obtuvieron los estadísticos asociados y las representaciones gráficas de las fechas de incendios, respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estadísticos utilizados para describir el régimen de incendios en la Reserva Nacional Malleco.

<b>Estadístico</b>	<b>Sigla</b>	<b>Descripción</b>
Intervalo Medio de Fuego	IMF	Nº de años promedio que transcurre entre fuegos sucesivos
Desviación Estándar del IMF	SD	Desviación con respecto al IMF
Probabilidad del Intervalo medio de Weibull	WMPI	Intervalo de fuego asociado con la probabilidad de tener el 50% de los intervalos superiores y el 50% de los inferiores a este valor
Número de Intervalos de Fuego	Nº de IF	Número de intervalos entre incendios dentro de la cronología
Máximo y mínimo intervalo de fuego	Max y Min IF	Intervalo de incendio máximo y mínimo dentro de la cronología

Fuente: Kitzberger *et al.* 2000

Para el análisis del régimen de incendios se desarrollaron gráficos considerando la totalidad de los incendios ocurridos (evidenciados en las muestras), pero también se graficaron los incendios luego de aplicados filtros que representaron una proporción  $\geq 10\%$  y  $\geq 20\%$  de los árboles registradores (a partir del primer daño provocado por un incendio el árbol se convierte en registrador). El sentido de estos filtros es poder dilucidar la frecuencia de incendios asociados a la intensidad y extensión espacial de éstos. A mayor número de muestras o series con la misma fecha de incendio indicaría una mayor intensidad y extensión espacial, y viceversa. No obstante lo anterior, esta suposición posee la limitante que la ocurrencia de incendios recientes puedan eliminar los registros de eventos anteriores. A estas representaciones, además, se les aplicó un filtro del número de muestras que registran un mismo incendio, resaltando así los eventos que estuvieran representados por un número  $\geq 2$  cicatrices.

Los estadísticos de incendio se compararon considerando dos períodos en las cronologías de incendios. Periodo Indígena correspondiente al periodo previo a la colonización del territorio de la Araucanía (1581-1882) y el periodo de colonización Euro-Chilena (1882-2005). Para lo anterior se utilizó el programa FHX2, que a través de una subrutina realiza una prueba de diferencia de media a través de la prueba T-Student, para muestras independientes con un nivel de significancia  $P < 0,05$ . Con esto se busca visualizar cual ha sido el impacto de la colonización en el régimen de incendios. Los periodos indicados ya han sido comparados en otros estudios para bosques de la especie (González 2005, Quezada 2006).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Cronología de incendios

#### 4.1.1 Características y profundidad temporal de la cronología de incendios del sector Mortandad (RNM)

El total de muestras que se obtuvieron del sitio de estudio fue de 75 secciones. Sólo un 64% del total de estas muestras se utilizó para el desarrollo de la cronología (48 muestras) (Cuadro 4). El 36% restante no fue incluida en la cronología debido a la presencia de paquetes de anillos angostos, pudrición avanzada, escasa visibilidad de las marcas de incendios o simplemente dentro del proceso de recolección no se pudo obtener la zona en que presumiblemente quedo registrado el evento.

Cuadro 4. Antecedentes generales de la cronología de incendios del sector Mortandad (RNM). Entre paréntesis el número de series con fechas de incendio consideradas en la cronología de incendios.

Zona	total series	amplitud temporal	primer incendio	ultimo incendio	N° fechas incendio
MRT	75 (48)	511	1553	2001	14

Como era de esperar, el número de series aumenta a medida que nos acercamos hacia el presente debido al mayor número de árboles vivos (Figura 5).

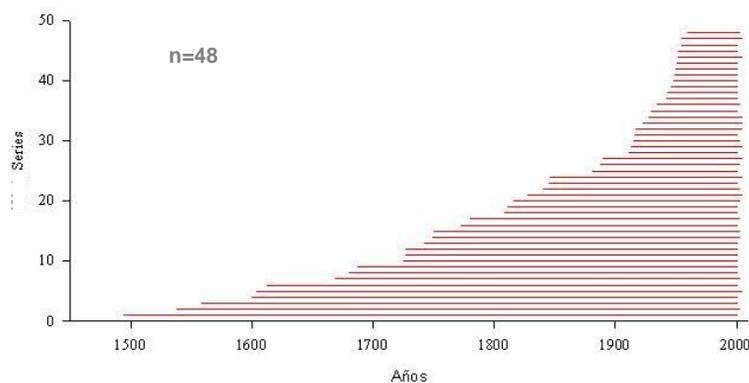


Figura 5. Profundidad temporal de la cronología de incendios. Cada línea temporal representa una serie.

La cronología de incendios en este sitio presenta una amplitud temporal de 511 años, desde el año 1494 hasta el año 2005. Registrando su primer evento de incendio en el año 1553 y el más actual el año 2001 (Figura 5).

En total la cronología presenta 14 fechas de incendio, donde los eventos mejor registrados, es decir incendios con más de una muestra, son: 1759, 1827, 1896, 1912, 1956, 1961 y 2001. Los incendios con el mayor número de árboles registradores del evento correspondieron a los años 1956 y 2001, con 28 y 5 cicatrices, respectivamente (Figura 6). Por su parte, 26 árboles en que se colectaron cicatrices murieron por este último evento.

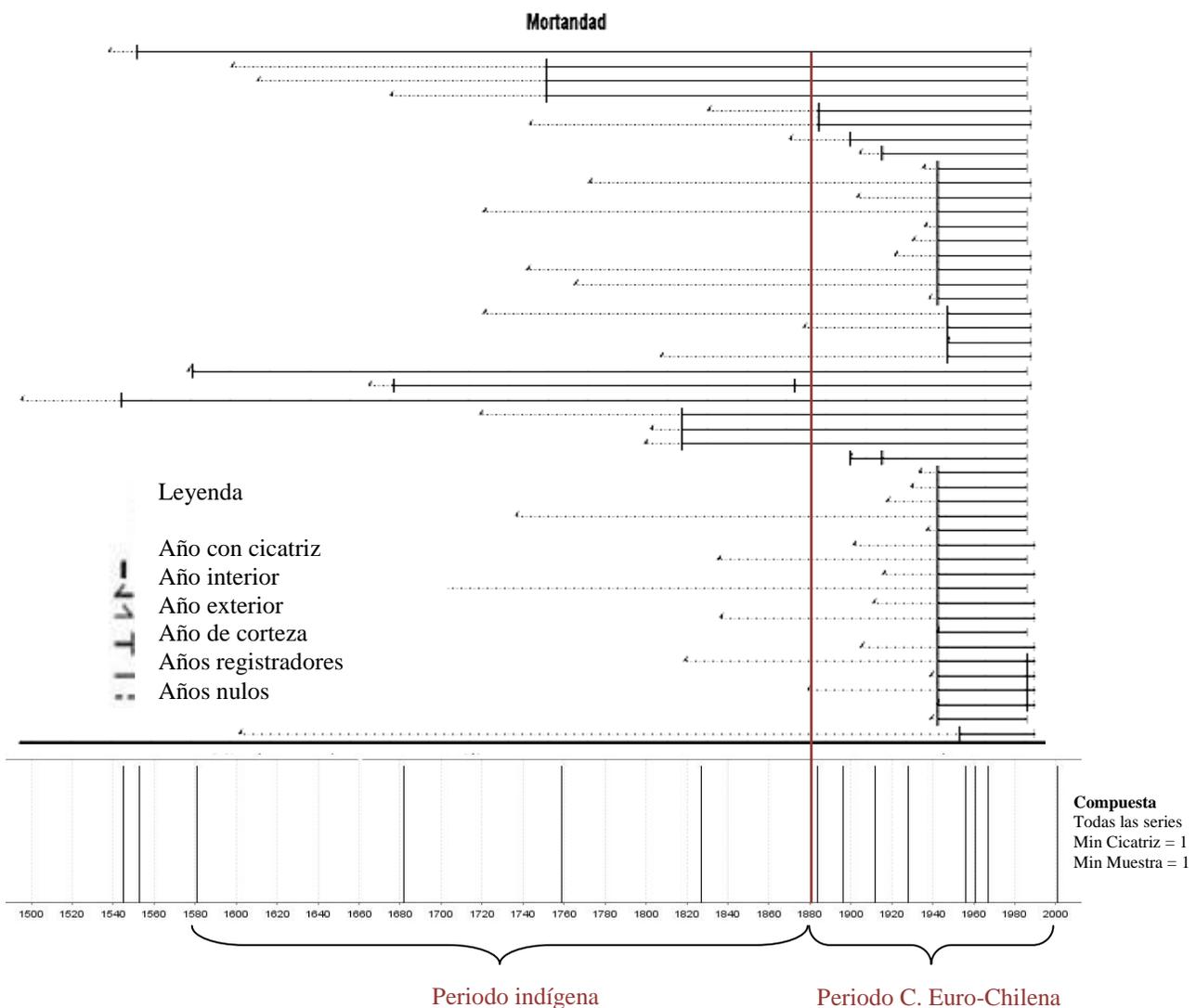


Figura 6. Cronología de incendios en el sitio o sector Mortandad (MRT). Las líneas horizontales representan la cobertura temporal de cada serie (n = 48). Las líneas verticales en la parte inferior muestran un resumen de las fechas de incendios.

Del total de cicatrices de incendios incorporadas en la cronologías (48) solamente seis presentaron más de un incendio datado en la misma muestra. La distribución temporal de las fechas indica que un 43% de los eventos se presentaron antes de 1882 (periodo-indígena) y un 57% posterior a ese año (periodo colonización Euro-Chilena) (Figura 6).

## 4.2 Intervalos de fuego

### 4.2.1 Intervalo de fuego compuesto

Dentro de la cronología de incendios se compararon los periodos indígena y de colonización euro-chilena. El periodo indígena utilizado comienza el año 1581, fecha en que se encuentran tres series registradoras y un registro de incendio en una de las series (Cuadro 5).

Cuadro 5. Estadísticos de la cronología de incendios con análisis de periodos desde el incendio más antiguo, que es 1581 (con  $\geq 1$  series con marca de incendio y con un mínimo de 3 series registradoras, hasta el año 1882 (periodo indígena) y entre el año 1883 al 2005 (periodo colonización euro-chilena, al presente) Las fechas de incendio fueron registradas por  $\geq 1$  series. Y se utilizan Filtros de Todas, 10% y 20% de series con marcas de incendio, con respecto a las series registradoras en el mismo año. Letras distintas indica que hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Periodo de Análisis	Filtros (%)	WMPI (años)	IMF (años)	SD	Nº de IF	Max IF (años)	Min IF (años)
1581 – 1882	$\geq 10$	83,12	82 <sup>a</sup>	17,06	3	101	68
	Todas	83,12	82 <sup>a</sup>	17,06	3	101	68
1883 – 2005	$\geq 10$	22,36	23,4 <sup>b</sup>	13,48	5	45	12
	Todas	15,3	16,71 <sup>b</sup>	10,81	7	34	5
1581 – 2005	$\geq 10$	41,73	46,67	31,36	9	101	12
	$\geq 20$	94,71	93,75	27,32	4	129	68
	Todas	29,96	38,18	32,59	11	101	5

n=48

Para el registro de incendios basados en todo el periodo (1581-2005) el IMF y el WMPI, para todos los años de fuego fueron de 38,18 y 29,96 años, respectivamente. Con la utilización del filtro  $\geq 10\%$  de las series registradoras, los intervalos de retorno aumentaron con valores de IMF y WMPI de 46,67 y 41,73 años, respectivamente. El mínimo intervalo de fuego es de 5 años, mientras que el máximo intervalo corresponde a 101 años. Cuando se analizaron los incendios con mayor severidad (filtro  $\geq 20\%$ ), aparecen los eventos de fuego ocurridos en los años 1581, 1682, 1759, 1827 y 1956 (Anexo 2). De los últimos tres incendios, los con  $\geq 3$  series con marca de fuego y en especial el último

con 28 series (Figura 7); los intervalos de fuego aumentaron considerablemente con un IMF de 93,75 años y un WMPI de 94,71 años. Cabe destacar que el último gran incendio ocurrido el año 2001 no queda registrado usando el filtro de  $\geq 20\%$ , lo cual se debe a los pocos individuos que sobrevivieron a este disturbio y que registraron este incendio. Pero si se le adhiere el número de series que presentan como último año formado el año 2000 y por lo tanto muertos producto de dicho incendio (26 individuos) el incendio se presentaría como uno de los más severos (Cuadro 5, Figura 7).

Se encontraron diferencias significativas al analizar los estadísticos de fuego entre los periodos indígena y colonización euro-chilena, presentando valores de IMF de 82 y 16,71 años, respectivamente ( $t = 6.682$ ,  $P = 0.0002$ ). Al desarrollar el mismo análisis usando el filtro  $\geq 10\%$ , el IMF alcanza 82 años para el periodo indígena y 23,4 años para el periodo de colonización Euro-Chilena, los cuales también presentaron diferencias significativas ( $t = 5.3463$ ,  $P = 0.004$ ).

En resumen se aprecia que los valores del intervalo de fuego (IMF y WMPI) fueron menores durante el periodo de colonización Euro-Chilena con respecto al periodo anterior (indígena). Observando la Figura 6, en donde se grafican todas las fechas de incendio, se aprecia que existe un gran número de eventos de fuego durante la primera mitad del siglo XX, los que disminuyen a partir de la segunda mitad de este período (último incendio registrado en 1967), hasta la aparición del gran incendio de la temporada estival 2001-2002.

### **4.3 Algunos antecedentes históricos de la influencia humana en el régimen de incendios en la Reserva Nacional Malleco**

De acuerdo con Neira (2004) los eventos de fuego dentro de la RNM han sido numerosos, con orígenes diversos y con disímiles superficies perturbadas. Estos disturbios han acontecido principalmente durante las temporadas estivales principalmente coincidiendo con las faenas de roce, despeje y posterior quema de los desechos. Estas prácticas fueron frecuentes principalmente antes del año 1962 dentro de la RNM. Como ejemplo el mismo autor indica que antes de la década de 1960, periodo en el cual la unidad se encontraba en manos de concesiones agrícola-ganadera-maderera, alrededor del 45% del bosque nativo de la RNM había sido destruido producto de incendios accidentales o por motivos de la explotación maderera. Estos incendios fueron luego provocados intencionalmente con la finalidad de limpiar los terrenos para el cultivo o el pastoreo del ganado. Posteriormente, y aunque se finiquitaron los sistemas de concesiones, y luego de la entrega de tierras de

la antigua RNM a los antiguos trabajadores e inquilinos, estos mantuvieron dichas prácticas de despeje por medio del fuego, los cuales interviniendo ahora sus predios, siguieron provocando incendios sin control que en muchas oportunidades se propagaron hacia el interior de la reserva o a predios colindantes. El estudio de Neira (2004) acerca de la historia de la RNM, menciona el incendio acontecido el año 1956, en donde se afectó principalmente a bosques de *Nothofagus* (colindantes a los sitios en donde se encuentra *A. araucana*).

Por último se comenta el gran incendio ocurrido la temporada estival 2001-2002 cuyo origen es distinto a los indicados anteriormente, ya que en este caso se produjo por la caída de rayos durante una tormenta eléctrica seca, que inició un foco en los cordones cordilleranos al interior de la unidad, específicamente en el Cerro “Montón de Trigo” (ubicado muy cerca del sector de estudio). Este incendio afectó a más de la mitad de los recursos boscosos de la unidad (11.273 ha) y parte del Parque Nacional Tolhuaca (colindante a la RNM).

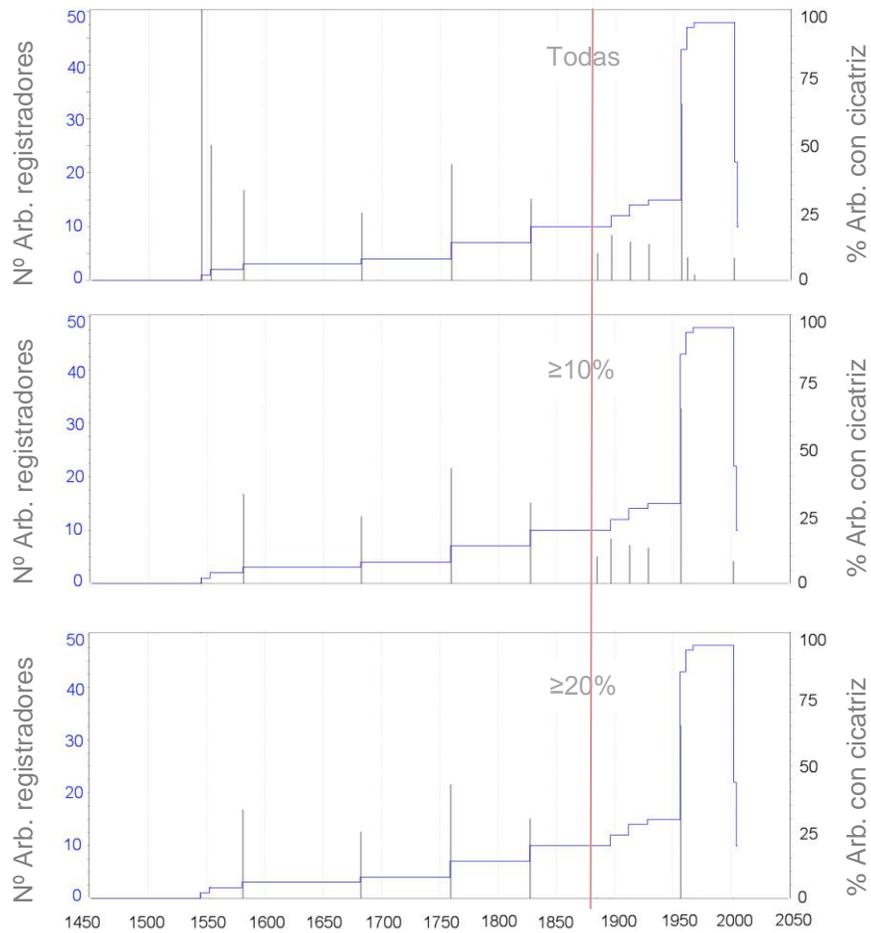


Figura 7. Las líneas verticales indican el porcentaje de árboles con cicatriz de incendio para todos los registros. Como “Todas” se indican las fechas de incendio que fueron registradas por  $\geq 1$  series. Los porcentajes de 10% y 20% se refieren a los filtros que indican el porcentaje de series con marcas de incendio, con respecto a las series registradoras en el mismo año. La línea horizontal (en azul) hace referencia a la profundidad de la muestra, y corresponde al número acumulado de árboles registradores en el mismo periodo. La línea de color rojo demarca el límite entre el periodo indígena y de colonización Euro-Chilena.

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Régimen temporal de incendios y el efecto de influencia humana

Tal como lo señalan otros estudios (González et al. 2005; Quezada 2008), y como se ve reflejado en este trabajo, la existencia de eventos de fuego en los bosques en que se encuentra presente *Araucaria* es de larga data y bastante recurrente. Esto se puede observar claramente en la extensión temporal de la cronología del sector Mortandad (RNM), que registró 450 años con un intervalo promedio de fuego de 38 años, posiblemente constituido por incendios de distintas severidades. La longevidad de *Araucaria* y sus habilidades adaptativas para sobrevivir a incendios de distintas severidades, permite contar con un registro extenso de la historia de incendios de los bosques donde habita, transformando a los individuos de esta especie en verdaderos archivos ambientales.

Tanto gráficamente, como a través del análisis estadístico de los intervalos de incendios se puede constatar que existe una variación en los regímenes de incendios dentro del sitio Mortandad. Si bien corresponde a un solo sitio dentro de esta Área Silvestre Protegida, las diferencias entre los periodos indígena y de colonización Euro-Chilena son significativas, lo que se condice con lo expuesto por González *et al.* (2005) tanto para bosques de la especie en los Parques Nacionales Villarrica y Tolhuaca (aledaño a la RNM). Estas diferencias entre estos periodos se mantienen al usar el filtro de  $\geq 10\%$  en la cronología de Mortandad, lo que indicaría una mayor ocurrencia de incendios de mayor severidad y extensión con la llegada de las prácticas de habilitación y despeje de terreno, características del periodo Euro-chileno (González 2005; González *et al.* 2005).

Es importante destacar que existe la posibilidad de eliminación de evidencias pasadas producto de incendios más recientes, que podría cambiar en algo los patrones temporales de fuego.

La historia de incendios del sector Mortandad en la RNM obtenida a partir de cicatrices de incendios en árboles de *Araucaria*, es coincidente con la revisión histórica del uso de los terrenos dentro y fuera de la RNM desarrollada por Neira (2004). Según lo expuesto en dicho trabajo, el régimen de fuego habría cambiado durante el funcionamiento del sistema de concesiones desde antes de creada la reserva (1907), registrándose un mayor número de incendios desde ese momento. La evidencia de estos registros obtenida tanto en forma oral como escrita es de gran relevancia para

confirmar eventos de incendios como es el caso de un gran incendio ocurrido el año 1956. Estos registros además permiten conocer el origen de algunos incendios acontecidos durante la primera mitad del siglo XX, los cuales en general no se generaron en los bosques de Araucaria, sino más bien en los bosques de Raulí, ubicados altitudinalmente en una cota más baja y también en las zonas aún más bajas de pastizales y matorrales, utilizados para el pastoreo de ganado y/o para la agricultura. En estos últimos sitios, los incendios se produjeron accidentalmente debido al desconocimiento de buenas prácticas del uso del fuego y/o a la nula preparación y control de estos eventos por parte de los administradores o encargados de la unidad.

Otro aspecto interesante de la historia de incendios de la RNM es la reducción de incendios (sin registros) a partir de la mitad de la década de 1960, y hasta el gran incendio del año 2001 (por causas naturales). Esto se explica por la erradicación del sistema de concesiones agrícola-ganadera-maderera y a la creación de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), organismo que generó un control más efectivo en la unidad instalando instrumentos de gestión y prevención de incendios.

Aún cuando el incendio ocurrido en el año 1956 se observa como el de mayor relevancia, por el número de series en que se evidenció, el gran incendio de la temporada 2001-2002 no se ve reflejado en las comparaciones por períodos y/o con la utilización de filtros, esto debido a que la gran mayoría de la serie recolectadas pertenecían a individuos que se encontraron muertos producto de este evento (último año exterior visible completo fue el 2000). Pero si se suma el número de estos individuos al número de series con cicatrices de incendio para ese año se reflejaría la escala y magnitud de este evento de fuego.

## 6. CONCLUSIONES

En el sitio Mortandad, al interior de la RNM, se encontraron claras evidencias del efecto modelador del fuego en los ecosistemas de Araucaria-Nothofagus durante al menos los últimos 500 años. El régimen de fuego fue alterado, tanto en su intervalo de recurrencia como en la magnitud de los incendios producto de la intervención humana en el sector. Esto último sucede a partir de la expansión de la frontera agrícola, posterior a la incorporación de la actual Región de La Araucanía al territorio nacional.

La llegada de colonos, y posteriormente de empresas concesionarias al sector, disminuye significativamente el IMF (incendios más frecuentes) para el periodo de colonización Euro-Chilena en comparación con el periodo indígena. Posteriormente, con la creación de la CONAF (1970) y políticas y estrategias más efectivas de manejo y control, la frecuencia de incendios disminuye. Esto da cuenta del largo proceso de “maduración” de las políticas de conservación en Áreas Silvestres Protegidas por el Estado y de la protección y prevención de incendios forestales en el país.

El uso cultural del fuego por parte del ser humano durante la primera parte del siglo XX es considerado inherente a los procesos de colonización de un territorio. Por lo que las reconstrucciones del historial de incendios asociado al uso de la tierra de una zona determinada es indispensable para entender el desarrollo y condición de los ecosistemas boscosos antes de estos procesos de colonización. Esta información es de suma relevancia para planificar y dirigir programas de restauración y manejo de estas unidades durante el siglo XXI.

## 7. REFERENCIAS

- Aagesen, D. 1998. Indigenous Resource Rights and Conservation of the Monkey-Puzzle Tree (*Araucaria araucana*, Araucariaceae): A Case Study from Southern Chile. *Economic Botany*, 52, (2), p: 146-160
- Aagesen, D. 2004. Burning monkey-puzzle: Native fire ecology and forest management in northern Patagonia. *Agriculture and Human Values*, 21: 233–242.
- Agee, J. K. 1993. *Fire Ecology of Pacific Northwest Forests*. Island Press, Washington, DC. pp 75-112.
- Agee, J.K. 1996. Historical fire regimes and approaches for determining fire history. In Arno, S.F., C. Hardy (eds). *USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-341*. pp. 12-13
- Alliende, M. 2001. La construcción de los Ferrocarriles en Chile 1850-1913. *Revista Austral de Ciencias Sociales* (5): 143-161
- Armesto, J.; Villagrán, C.; Arroyo, M. K. 1995. *Ecología de los Bosques nativos de Chile*. Universitaria. 469 p.
- Arno, S.; K. Sneck. 1977. A method for determining fire history in coniferous forests of the mountain west. *USDA Forest Service, Tucson, AZ*. 28 p. (General Technical Report INT-42)
- Arno, S.F. 1996. The seminal importance of fire in ecosystem management -- impetus for this publication. In *The Use of Fire in Forest Restoration*. *USDA Forest Service General Technical Report INT-GTR-341*. Intermountain Research Station, Ogden, UT.
- Benoit, I. 1989. *Libro rojo de la flora terrestre de Chile*. Corporación Nacional Forestal. Creces , Santiago, Chile. 157p.
- Bowman, D.; Balch, J.; Artaxo, P.; Bond, W.; Carlson, J.; Cochrane, M.; Antonio, C.; DeFries, R.; Doyle, J.; Harrison, S.; Johnston, F.; Keeley, J.; Krawchuk, M.; Kull, C.; Marston, J.; Moritz, M.;

Prentice, C.; Roos, C.; Scott, A.; Swetnam, T.; Van der Werf, G. Pyne, S. 2009. Fire in the Earth System. *Science* 324 (5926): 481-484

Burns, B. 1993. Fire-induced dynamics of *Araucaria araucana-Nothofagus antarctica* forest in the southern Andes. *Journal of Biogeography* 20(6): 669-685

Castillo, M. 2003. Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*. 19 (3 y 4) 9p.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF) - OFFICE NATIONAL DES FORÊTS (ONF)  
1998. Plan de Ordenación de la Reserva Nacional Malleco. CONAF 195p.

CONAF; CONAMA; BIRF; Universidad Austral de Chile; U. Católica de Temuco, P. Universidad Católica de Chile. 1999. Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Santiago, Chile.

CONAF, 2002. Antecedentes sobre impacto de incendios forestales en la IX Región. Documento de visita a la zona afectada por Incendios, CONAF, Temuco, Chile. 16 p.

Conedera, M.; Tinner, W.; Neff, C.; Meuer, M.; Dickens, A.; Krebs, P. 2009. Reconstructing past fire regimes: Methods, applications, and relevance to fire management and conservation. *Quaternary Science Reviews* 28: 435-456

Donoso, C. 1981. Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Documento de Trabajo N°. 38. Investigación y Desarrollo Forestal (CONAF, PNUD-FAO) (Publicación FAO Chile).

Donoso, C. 1998. Bosques templados de Chile y Argentina; Variación, Estructura y dinámica. 4ª ed. Santiago, Universitaria. 483 p.

González, M. A.; Schwendenmann, L.; Jiménez, J.; Himmelsbach, L. 2007. Reconstrucción del historial de incendios y estructura forestal en bosques mixtos de pino Encino en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques*. 13(2):51-63.

- González, M. E. 2005. Fire history data as reference information in ecological restoration. *Dendrochronologia* 22: 149-154
- González, M. E.; Veblen, T. T.; Sibold, J. 2005. Fire history of *Araucaria-Nothofagus* forests in Villarrica National Park, Chile. *Journal of Biogeography* (32): 1187-1202
- González, M. E.; Cortés, M.; Izquierdo, F.; Gallo, L.; Echeverría, C.; Bekkesy, S.; Montaldo, P. 2006. *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch.; *Araucaria*(o), Pehuén, Piñonero, Pino Araucaria, Pino chileno, Pino del Neuquén, Monkey puzzle tree. In: Donoso, C. (ed.) *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: Autoecología*. Valdivia (Chile). pp. 36-53
- González, M. E.; Veblen, T. 2007. Incendios en bosques de *Araucaria araucana* y consideraciones ecológicas al madereo de aprovechamiento en áreas recientemente quemadas. *Revista Chilena de Historia Natural* 80: 243-253
- González, M. E.; Szejner, M.; Muñoz, A.; Silva, S. 2010. Incendios catastróficos en bosques andinos de *Araucaria-Nothofagus*: efecto de la severidad y respuesta de la vegetación. *Bosque Nativo* 46:12-17
- Grissino-Mayer, H. D. 1995. Tree-ring reconstructions of climate and fire at El Malpais National Monument, New Mexico, Phd Thesis, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA. 388 p.
- Hechenleitner, P.; Gardner, M.; Thomas, T.; Echeverría, C.; Escobar, B.; Brownless, P.; Martínez, P. 2005. *Plantas amenazadas del Centro-Sur de Chile; Distribución, conservación y propagación*. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo. 188 p.
- Heusser, C.; Rabassa, J.; Brandani A. y Stuckenrath, R. 1988. Late-Holocene vegetation of the Andean *Araucaria* region, Province of Neuquen, Argentina. *Mountain Research and Development* 8(1): 53-63.

- Holmes, R. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bull.* 44: 69-75
- Kitzberger, T.; T. T. Veblen; R. Villalba. 2000. Métodos dendrocronológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. In: Roig F. (ed.). *Dendrocronología en América Latina*. Mendoza, Argentina, EDIUNC. pp. 17-78
- Lara A, Solari ME, Rutherford P, Thiers O, Trecaman R. 1999. Cobertura de la vegetación original de la Ecoregión de los Bosques Valdivianos de Chile hacia 1550. Informe Técnico, Universidad Austral de Chile-World Wildlife Fund; 32p.
- McKenzie, D. 2004. La historia del fuego y su relación con el clima. In: Villers-Ruiz L.; López-Blanco J., (eds.) *Incendios forestales en México: métodos de evaluación*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. pp 13-28
- Montaldo, P. 1974. La bio-ecología de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación Capacitación. *Boletín* 46: 3-55.
- Neira, P. 2004. Chile y su primera área silvestre protegida por el Estado: Historia de la Reserva Nacional Malleco (1907-2003). Un aporte de la historia a la valoración del medio ambiente entre los estudiantes de primer año medio. Trabajo de Titulación Prof. de Estado en Historia, Geografía y Educación Cívica. Temuco, Universidad de la Frontera, Fac. de Educación y Humanidades. 291 pp.
- Otero, L. 2006. La huella del fuego: historia de los bosques nativos poblamiento y cambios en el paisaje del sur de Chile. Santiago (Chile), Pehuén. 168 p.
- Peñaloza, R. 2007. Zonificación de la severidad de incendio natural y su distribución topográfica cuantitativa en el Parque Nacional Tolhuaca, IX Región. Trabajo de Titulación Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 67 p.

- Quezada, J. 2008. Historia de incendios en bosques de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. del Parque Nacional Villarrica, a partir de anillos de crecimiento y registros orales. Trabajo titulación Ing. For., Universidad Austral de Chile. Fac. de Cs. Forestales. 63 p.
- Rechene, C.; Bava, J.; Mujica, R. 2003. Los bosques de *Araucaria araucana* en Chile y Argentina. Programa de Apoyo Ecológico (TOEB), Eschborn, Alemania. GTZ, Agencia de Cooperación Alemana, Informe TWF- V/40s, 158 pp.
- Rodríguez R.; Matthei O.; Quezada M. 1983. Flora arbórea de Chile. Ed. Universidad de Concepción. Chile. 408 p.
- Rovira, J.; Álvarez, D.; Molt, K.; Ortega, D. 2006. Áreas protegidas en Chile. In Saball, P., Arroyo, M.T.K., Castilla, J.C., Estades, C., Larráin, S., Moreno, C., Sierralta, L., Rovira, J., Ladrón de Guevara, M.J. y Rivas, F. (eds). Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago de Chile. pp. 512-559.
- Schulman, E. 1956. Dendroclimatic Changes in semiarid América. Tucson, University of Arizona Press.
- Stokes, M.; T. Smiley. 1996. Introduction to Tree-Ring Dating. University of Chicago. Press. 73 p.
- Swetnam, T.; Allen, C.; Betancourt, J. 1999. Applied historical ecology using the past to manage for the future. *Ecological Applications* 9:1189-1206.
- Syphard, A.; Radeloff, V.; Keeley, J.; Hawbaker, T.; Clayton, M.; Stewart, T.; Hammer, R. 2007 Human influence on California fire regimes. *Ecological Applications*. 17(5): 1388–1402
- Urrutia, R. 2002. Desarrollo de una cronología de ancho de anillos para alerce (*Fitzroya cupressoides*) y reconstrucción de la historia de incendios en el área de Abato, Parque Nacional Chiloé, X Región. Tesis Ing. For. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Fac. de Agronomía e Ing. Forestal. 71 p.

- Van Horne, M.; Fulé, P. 2006. Comparing methods of reconstructing fire history using fire scars in a southwestern United States ponderosa pine forest. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 855–67.
- Veblen, T.T. 1982. Regeneration patterns in *Araucaria araucana* forests in Chile. *Journal Biogeography* 9: 11-28
- Veblen, T. T. 2007. Temperate Forests of the Southern Andean Region. In: Veblen, T. T.; Young, K.; Orme, A. (eds). *The physical geography of South America*. Oxford: Oxford University Press. pp. 217-231.
- Veblen, T. T.; Kitzberger, T.; Raffaele, R.; Mermoz, M.; González, M. E.; Sibold, J.; Holz, A. 2008. The historical range of variability of fires in the Andean-Patagonian Nothofagus forest region. *International Journal of Wildland Fire* 17(6): 724-741.
- Venegas, A.; Varela, S.; Estades, C. 2009. Efecto del fuego en la comunidad de aves de bosque en la Reserva Nacional Malleco. *Boletín Chileno de Ornitología* 15(1): 1-7.

**ANEXO 1**

**Formulario de terreno para la toma de datos de cicatrices de incendio**



## **ANEXO 2**

**Resultados Análisis Estadístico sitio Mortandad entre el periodo (1581 -2005). Con Filtros de Todas,  $\geq 10\%$ ,  $\geq 20\%$ .**



## Filtro $\geq 10\%$

Fire Interval Analyses,  $\geq 10\%$  Scarred, 1581 - 2005

### Part 1: Summary Information

Year	Total Scars	Recorder Trees	Percent Scarred	Fire Interval
1581	1	3	33	.
1682	1	4	25	101
1759	3	7	43	77
1827	3	10	30	68
1884	1	10	10	57
1896	2	12	17	12
1912	2	14	14	16
1928	2	15	13	16
1956	28	43	65	28
2001	4	22	18	45

### Part 8: Summary Statistics

Total Intervals	:	9
Mean Fire Interval	:	46.67
Median Fire Interval	:	45.00
Fire Frequency	:	0.02
Weibull Modal Interval	:	29.02
Weibull Median Interval	:	41.73
Weibull Fire Frequency	:	0.02
Standard Deviation	:	31.36
Coefficient of Variation	:	0.67
Skewness	:	0.38
Kurtosis	:	-1.31
Scale parameter	:	52.29
Shape parameter	:	1.62
Minimum Fire Interval	:	12.00
Maximum Fire Interval	:	101.00
Lower Exceedance Interval	:	15.14
Upper Exceedance Interval	:	82.08
Maximum Hazard Interval	:	> 1000

## Filtro $\geq 20\%$

Fire Interval Analyses,  $\geq 20\%$  Scarred, 1581 - 2005

### Part 1: Summary Information

Year	Total Scars	Recorder Trees	Percent Scarred	Fire Interval
1581	1	3	33	.
1682	1	4	25	101
1759	3	7	43	77
1827	3	10	30	68
1956	28	43	65	129

### Part 8: Summary Statistics

Total Intervals	:	4
Mean Fire Interval	:	93.75
Median Fire Interval	:	89.00
Fire Frequency	:	0.01
Weibull Modal Interval	:	97.01
Weibull Median Interval	:	94.71
Weibull Fire Frequency	:	0.01
Standard Deviation	:	27.32
Coefficient of Variation	:	0.29
Skewness	:	0.37
Kurtosis	:	-1.76
Scale parameter	:	103.09
Shape parameter	:	4.32
Minimum Fire Interval	:	68.00
Maximum Fire Interval	:	129.00
Lower Exceedance Interval	:	64.71
Upper Exceedance Interval	:	122.11
Maximum Hazard Interval	:	217.28