



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Reconstrucción de la historia de incendios en bosques de  
*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst y *Nothofagus nervosa*  
(Phil.) Dim. Et Mil. en el Parque Nacional Tolhuaca**

Patrocinante: Sr. Mauro González

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

**JOSE LUIS PALMA VILLANUEVA**

VALDIVIA

2007

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Mauro González Cangas	6,5
Informante:	Sr. Carlos Le Quesne Geier	6,0
Informante:	Sr. Víctor Sandoval Vásquez	6,0

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. Mauro González C.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, el más grande de los agradecimientos es para mis padres Margarita y Alberto y mis hermanas Carolina y Viviana, quienes son las personas más importantes en mi vida y quienes me han entregado su cariño y apoyo incondicionalmente.

A mi profesor patrocinante, Doctor Mauro González, agradezco su importante colaboración en el desarrollo de este trabajo, a través de sus ideas y su meticulosidad en cada una de las revisiones. A mis profesores informantes por apoyarme en cada momento que lo necesité.

A CONAF IX región por apoyar a la realización de esta investigación y al guardaparque del Parque Nacional Tolhuaca, Sr. Isaías Cofré, por su buena onda y su colaboración en la recolección de las muestras. A los proyectos DID (S-2005-08) e IFS (I-2005-02).

A Carlos Castillo por su colaboración en terreno, a Rodrigo Peñaloza por facilitarme información valiosa y a mi amigo Juanito por sus consejos y su ayuda en la elaboración de los mapas.

A Emilio Cuq por facilitarme las dependencias de la Xiloteca y del laboratorio de Dendrocronología y a Paulina Hechenleitner por permitirme trabajar en su laboratorio.

A mis amigos Cristian, Mario, Pame, Guille por su apoyo y preocupación, además de su buena onda en cada momento.

Por último, a María José, quién fue una persona muy importante en esta etapa de mi vida y un gran apoyo para la realización de esta tesis.

*A mi Familia*

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes generales de las especies	3
2.2 Rol del fuego en los bosques de <i>Nothofagus</i>	4
2.3 Datación de incendios a partir de muestras de cicatrices	6
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	8
3.1 Área de Estudio	8
3.2 División del área de estudio	9
3.3 Colección de las muestras en terreno	10
3.3.1 Período de colecta y tipo de muestras colectadas	10
3.3.2 Ubicación y extracción de cicatrices	10
3.3.3 Extracción de tarugos para determinar fechas de establecimiento masivo	11
3.3.4 Información recolectada a árboles muestreados	12
3.4 Preparación de las muestras	12
3.5 Determinación de edades	12
3.6 Fechado de incendios	12
3.7 Análisis de datos	13
3.7.1 Desarrollo de una cronología de incendios	13
3.7.2 Desarrollo de un mapa histórico de fuego	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1 Reconstrucción temporal de los incendios	15
4.1.1 Cuñas y tarugos colectados y usados para análisis de incendios	15
4.1.2 Incendios fechados para toda el área de estudio	16
4.1.3 Incendios en las zonas 1 y 2	17
4.1.4 Incendios en la zona 3	20
4.1.5 Incendios en la zona 4	23
4.2 Reconstrucción espacial de los incendios	26
4.3 Rol del fuego en la dinámica de los bosques de <i>Nothofagus</i>	30
5. CONCLUSIONES	31
6. BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXOS	
1 <i>Abstract and keywords</i>	
2 Muestras colectadas y rangos de exactitud de las fechas	
3 Datos de terreno para árboles muestreados con cicatrices	
4 Resultados de fechas de incendio para las cicatrices	
5 Datos de terreno y de procesamiento de tarugos por zona	
6 Fotografías de muestras de raulí	

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Callo de cicatrización en árbol con tres marcas de fuego.	7
Figura 2	Ubicación del Parque Nacional Tolhuaca y área de estudio.	9
Figura 3	Ubicación de las cuatro zonas de muestreo dentro del Parque Nacional Tolhuaca.	10
Figura 4	Procedimiento para la extracción de muestras de cicatrices de fuego.	11
Figura 5	Ubicación de los puntos de muestreo de tarugos y de cicatrices de fuego.	15
Figura 6	Registro de cicatrices de fuego considerando todos los incendios que afectaron el área de estudio dentro del Parque Nacional Tolhuaca desde el año 1762.	17
Figura 7	Frecuencia de árboles por clases diamétricas para los árboles muestreados con cicatrices en la zona 2.	18
Figura 8	Registro de cicatrices de fuego considerando los incendios que afectaron la zona 1 y 2 del área de estudio.	19
Figura 9	Períodos de establecimiento y clases diamétricas para los árboles muestreados con tarugos de la zona 1.	19
Figura 10	Períodos de establecimiento y clases diamétricas para los árboles muestreados con tarugos de la zona 2.	19
Figura 11	Frecuencia de árboles por clases diamétricas para los árboles muestreados con cicatrices en la zona 3.	21
Figura 12	Registro de cicatrices de fuego considerando los incendios que afectaron la zona 3 del área de estudio.	21
Figura 13	Períodos de establecimiento y clases diamétricas para los árboles muestreados de la zona 3.	22
Figura 14	Frecuencia de árboles por clases diamétricas para los árboles muestreados con cicatrices en la zona 4.	24
Figura 15	Registro de cicatrices de fuego considerando los incendios que afectaron la zona 4 del área de estudio.	24
Figura 16	Períodos de establecimiento y clases diamétricas para los árboles muestreados de la zona 4.	25
Figura 17	Superficie aproximada del área de estudio cubierta por el incendio de 1762.	27
Figura 18	Superficie aproximada del área de estudio cubierta por el incendio de 1803.	27
Figura 19	Superficie aproximada del área de estudio cubierta por el incendio de 1835.	28
Figura 20	Superficie aproximada del área de estudio cubierta por el incendio de 1860.	28
Figura 21	Superficie aproximada del área de estudio cubierta por el incendio de 1960.	29
Figura 22	Superficie aproximada del área de estudio cubierta por el incendio de 2002.	29

## RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo se realizó un estudio de la historia de incendios forestales en bosques de coihue (*Nothofagus dombeyi*) y raulí (*Nothofagus nervosa*) en el Parque Nacional Tolhuaca (PNT) (38° 10' S), en la precordillera andina de la provincia de Malleco, al norte de la IX Región. El propósito fue caracterizar el patrón espacial y temporal de los incendios ocurridos históricamente e indicar la influencia que estos han tenido en la dinámica de los bosques de *Nothofagus*.

En incendios de intensidad baja a media, los *Nothofagus* pueden sobrevivir y si han sido dañados pueden formar cicatrices que serán lentamente cubiertas por el crecimiento del árbol. En incendios de intensidad alta estas especies mueren fácilmente, provocando como respuesta un nuevo establecimiento, lo que resulta en cohortes que se usan para datar en forma aproximada estos incendios y estimar su extensión espacial.

Se utilizaron en total 128 tarugos de incremento y 45 muestras de cicatrices de fuego, para 4 zonas de muestreo, a partir de las cuales se obtuvo como resultado una cronología de incendios con una amplitud de 320 años, cubriendo desde el año 1685 hasta el año 2005, representando 9 fechas de incendio, los cuales muestran una frecuencia bastante regular en el tiempo. El renoval de las dos primeras zonas registra sólo dos incendios, el de 1960 y el de 2001, de los cuales el primero originó este renoval y borró la evidencia de posibles incendios anteriores. En cambio, las zonas 3 y 4, donde se encuentran formaciones más maduras, se registraron cinco fechas (1860, 1906, 1936, 1960 y 2001) y cuatro fechas (1762, 1803, 1835, 1895) de incendio respectivamente, indicando que los eventos ocurridos en estas últimas dos zonas han sido de menor superficie e intensidad.

Factores como la topografía del lugar, facilitan que los incendios afecten con mayor intensidad las primeras dos zonas y frenen o minimicen el daño de los incendios en las zonas 3 y 4, principalmente en esta última, que por ejemplo, es la única que no fue afectada por los incendios de 1960 y 2001.

La frecuencia de incendios determinados para este período de 320 años, indica que el fuego ha tenido un rol clave en su dinámica, lo que ha permitido la dominancia de formaciones jóvenes y puras de *Nothofagus*.

Palabras clave: Cicatrices de fuego, incendios, dinámica, *Nothofagus*.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la cordillera andina de la zona centro-sur de Chile el viento, deslizamientos de tierra, depositación volcánica y especialmente fuego, son las alteraciones naturales dominantes que influyen la dinámica de los bosques de *Nothofagus*. A la escala de paisaje, disturbios alogénicos de gran escala, tales como incendios, son comunes y tienen una fuerte influencia en la composición y estructura del bosque, resultando en un mosaico de parches en distintos estados de desarrollo (Veblen *et al.*, 1996).

En el Parque Nacional Tolhuaca, incendios, tanto naturales como antrópicos, han influido en la dinámica de los bosques de *Nothofagus*, a través de su frecuencia y severidad. Las especies coihue (*Nothofagus dombeyi*) y raulí (*Nothofagus nervosa*) dominan en estos bosques y su regeneración se encuentra fuertemente asociada a estos disturbios.

El último evento de incendio (de magnitudes catastróficas) ocurrió en febrero de 2002, afectando cerca de 15.000 ha abarcando la Reserva Nacional Malleco y el Parque Nacional Tolhuaca. Si bien los daños y la superficie afectada son de consideración, este es un disturbio natural y recurrente en la historia de estos bosques. Frente a esto, algunas especies presentan adaptaciones que les permiten responder adecuadamente y volver a repoblar el área afectada.

Los seres humanos han sido un factor fundamental en las alteraciones producidas en los bosques cordilleranos de la IX Región, en donde se encuentran los bosques de *Nothofagus*, eliminando grandes extensiones para cultivos agrícolas y habilitación de terrenos para ganadería. Se estima que estos bosques fueron afectados fuertemente después de la llegada de colonos euro-chilenos a la región de la Araucanía, a finales del siglo XIX (González, 2002).

La ocurrencia de disturbios como incendios forestales en la Cordillera de los Andes es reconocida, pero su ocurrencia histórica e influencia en las distintas formaciones boscosas no ha sido mayormente estudiada. Actualmente existen técnicas que permiten estudiar este tipo de fenómenos por medio de la dendrocronología, que es la disciplina científica que se dedica a la reconstrucción de eventos pasados por medio del estudio y fechado de los anillos de crecimiento (Kitzberger *et al.*, 2000). Dentro de sus numerosas aplicaciones se encuentra el fechado de incendios, lo cual resulta de gran utilidad para reconstruir la ocurrencia histórica de fuego y la dinámica de los bosques.

Otra técnica de muestreo de eventos de incendios es a través de la colección de tarugos para determinar cohortes. Este método de reconstrucción de historia de disturbios puede resultar apropiado en regímenes de fuego de alta intensidad que consumen los registros largos de cicatrices y donde el establecimiento es masivo e inmediato luego del incendio (Kitzberger *et al.*, 2000).



El presente estudio está orientado a reconstruir temporal y espacialmente la historia de incendios usando técnicas dendroecológicas, a partir de la colecta de cicatrices de fuego y tarugos de incremento de las especies dominantes de estos bosques, coihue y raulí. Así, el objetivo general del presente trabajo es reconstruir la historia de incendios en bosques de coihue y raulí en el Parque Nacional Tolhuaca (PNT).

Para el cumplimiento del objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el régimen de incendios en términos de su frecuencia y severidad.
- Reconstruir espacialmente los incendios ocurridos históricamente en el área de estudio.
- Analizar el rol del fuego en la dinámica de los bosques de *Nothofagus dombeyi* y *N. nervosa*.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes generales de las especies

*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst., (coihue) es una de las tres especies siempreverdes chilenas del género *Nothofagus*. Pertenece a la familia Fagaceae y es una especie endémica de los bosques subantárticos de Chile y Argentina. Se distribuye desde los 34°41' S, en la provincia de Colchagua (VI Región), hasta los 48° S, en la provincia de Aysén. Se encuentra en ambas cordilleras, pero es escaso en la costa desde los 37° S. En el Llano central crece desde los 38° S hacia el sur (Donoso, 1981b). Al sur del río Bio-Bio el coihue pasa a ser una especie más común (Donoso, 1978). En la mitad norte de su área de distribución geográfica crece entre los 700 y los 1200 m s.n.m., pero decrece gradualmente hacia el sur, encontrándose en la provincia de Aysén entre los 0 y 500 m s.n.m. (INFOR-CONAF, 1998a). Esta especie intolerante a la sombra se caracteriza por preferir suelos húmedos y ser una especie pionera al colonizar áreas desprovistas de vegetación (Rodríguez *et al.*, 1983). En condiciones de bosque generalmente se encuentra libre de ramas hasta gran altura (poda natural) y copa pequeña. Es un árbol muy longevo, alcanzando más de 400 años de edad, considerándose la latifoliada más grande de los bosques del sur de Chile (Hoffmann, 1982).

*Nothofagus nervosa* (Phil.) Dim. et Mil., raulí, es una especie del género *Nothofagus*, que pertenece a la subsección Antarticae, que comprende a las especies caducifolias del género (Donoso, 1978). Crece tanto en la Cordillera de los Andes como en la Cordillera de la Costa, desde el río Teno en la provincia de Curicó (35° S), hasta el sur de la provincia de Valdivia (40°30' S) en la Cordillera de los Andes (INFOR-CONAF, 1998b) y en la Cordillera de la Costa desde el río Itata (36°30' S) hasta la zona de Los Muermos (41°15' S), en la provincia de Llanquihue (Martínez, 1993). Raulí se presenta normalmente en las laderas de ambas cordilleras, de preferencia sobre los 500 m s.n.m., en pendientes de hasta 30%. Ocupa las posiciones de media ladera, evitando las heladas y la acumulación de agua del suelo. En los Andes crece sobre suelos derivados de cenizas volcánicas y en la costa en suelos de origen metamórfico (INFOR - CONAF, 1998b).

Ambas especies se pueden encontrar reunidas en dos tipos forestales, el tipo Roble-Raulí-Coihue y el tipo Coihue-Raulí-Tepa.

El tipo forestal Roble-Raulí-Coihue corresponde a los renovales y bosques puros o mezclados de las especies roble, raulí y coihue. Se trata de un tipo de alto interés económico que existía originalmente en Chile, pero que se hizo más abundante debido a la acción alteradora del hombre, a través de la tala masiva y de los incendios. Como resultado de esto y de la transformación de áreas boscosas para la agricultura y la ganadería, parte de las asociaciones originales en que estaban incluidas las especies de *Nothofagus* señaladas desaparecieron, desarrollándose en cambio bosques de segundo crecimiento (Donoso, 1981b).

El tipo forestal Coihue-Raulí-Tepa se extiende en altitudes medias como fajas de vegetación forestal, las cuales han sido en gran medida alteradas por la acción de las faenas de extracción de maderas y por los incendios forestales, y en cierta medida por catástrofes naturales. Como resultado de esto, en muchas áreas el tipo forestal ha perdido su identidad y se ha transformado en renovales o bosques de segundo crecimiento, que se identifican dentro del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue. Esta situación puede ser muy frecuente si se considera que por definición el paso de un tipo a otro se produce cuando raulí o coihue constituyen más del 50% de los individuos por ha (Donoso, 1981b).

## **2.2 Rol del fuego en los bosques de *Nothofagus***

En la cordillera andina de la zona centro-sur de Chile el viento, deslizamientos de tierra, depositación volcánica y especialmente fuego, son las alteraciones naturales dominantes que influyen en la dinámica de los bosques de *Nothofagus*. A la escala de paisaje, disturbios alogénicos de gran escala, tales como incendios, son comunes y tienen una fuerte influencia en la composición y estructura del bosque, resultando en un mosaico de parches en distintos estados de desarrollo (Veblen *et al.*, 1996).

Veblen y Ashton (1978) proponen que para el caso de los bosques del centro-sur de Chile de baja y mediana altitud en la Cordillera de los Andes (bajo los 1.000 m s.n.m.), las asociaciones forestales dominadas por *Nothofagus* representarían etapas sucesionales tempranas derivadas de una larga historia de fenómenos catastróficos, la cual explicaría que los bosques longevos de *Nothofagus* no sean reemplazados por las especies tolerantes. El lapso de tiempo que transcurre entre alteraciones es menor que la edad que se estima pueden vivir los *Nothofagus* (hasta 500 años) (Veblen y Ashton, 1978; Ovalle, 1996).

En paisajes forestales caracterizados por estas alteraciones de gran escala, Oliver (1981) ha desarrollado una útil conceptualización de los estados de desarrollo de un bosque luego de un disturbio, el cual incluye cuatro estados fisonómicos amplios: iniciación del rodal; exclusión de fustes; reiniciación de sotobosque y bosque adulto. Para los bosques dominados por *Nothofagus* este modelo ha entregado un marco satisfactorio para los patrones de desarrollo de rodales (Veblen *et al.*, 1996).

Los incendios forestales originan áreas secundarias que promueven procesos sucesionales iniciales diferentes y más rápidos que los originados en áreas primarias, producto de grandes alteraciones como deslizamientos de tierra o erupciones. En aquellas áreas donde los incendios son frecuentes, las plantas han desarrollado diferentes tipos de adaptaciones que permiten la sobrevivencia de las especies en el área. Si solo han sido afectadas las partes aéreas, la mayor parte de las especies herbáceas perennes y los arbustos son capaces de regenerarse rápidamente mediante rebrote desde las raíces, tallos o tubérculos subterráneos (Donoso, 1993). Otra de las adaptaciones que presentan las especies para protegerse del fuego es la presencia de una corteza gruesa y resistente, como ocurre con *A. araucana* o *N. glauca*, lo que no sucede con las especies coigüe y raulí en menor grado, que por el

contrario, presentan cortezas más delgadas y sensibles a los incendios, principalmente cuando son individuos jóvenes (Donoso, 1981a).

Donoso (1981a) señala que después de un incendio se produce normalmente un cambio en la vegetación, donde frecuentemente es posible observar que especies que rebrotan fácilmente, se encuentran entre las primeras que la repueblan, con lo que adquieren una ventaja inicial sobre aquellas que necesitan el arribo de semillas al área para poder establecerse. Un gran número de especies de los bosques chilenos son capaces de regenerar a partir de yemas adventicias en la base de los troncos quemados y raíces, a excepción de algunas coníferas y los coihues (*Nothofagus* siempreverdes) (Donoso, 1981a; Donoso, 1993). Raulí es una especie que rebrota vigorosamente del tocón o cepa, después del madereo y los incendios. Un porcentaje considerable de los renovales de raulí son producto de este tipo de reproducción vegetativa, la cual le da ventaja sobre especies pioneras como el coihue, para establecerse en sitios denudados (Donoso, 1978; Donoso, 1981a; Donoso, 1993).

Cuando no son estas las especies que constituían las áreas quemadas, la vegetación que sucederá a la anterior en el área estará formada normalmente por especies de semillas livianas, que han sido capaces de llegar hasta el área (Donoso, 1981a; Donoso, 1993). Coihue no presenta reproducción vegetativa, por lo que después de incendios repetidos en un área podría desaparecer (Howard, 1973, citado por Donoso, 1981). Los individuos de coihue de diámetros pequeños, tales como cohortes jóvenes post-incendio, son destruidos fácilmente por el fuego, pero árboles aislados de gran diámetro pueden sobrevivir y proporcionar la fuente de semillas (Tortorelli, 1947). Esta especie es considerada una sembradora prolífica, por lo que la regeneración post-incendio estaría asegurada mientras exista fuente de semillas en aproximadamente 50 m a la redonda (Veblen y Lorenz, 1987; Kitzberger y Veblen, 1999). Esta abundante regeneración de coihue en las áreas denudadas forma rodales coetáneos, los cuales presentan una alta densidad de individuos, que con el tiempo desarrollarán una distribución de frecuencia en forma de campana de Gauss (Burschell *et al.*, 1976; Donoso, 1981a).

Burschell *et al.* (1976), en un estudio de regeneración natural realizado en bosques de coihue y raulí, señala que la producción de semillas de estas especies presenta una marcada periodicidad, además de un fuerte ataque de insectos y una baja viabilidad, la cual mejora en los años de buena semillación. Medina y Ojeda (1972) indican como otro factor negativo para la regeneración natural de las especies de *Nothofagus* el tipo de sustrato presente, señalando que una profunda capa de material orgánico constituye un obstáculo para el establecimiento de la regeneración proveniente de semillas, esto principalmente para coihue, por el pequeño tamaño de sus semillas, en comparación con raulí.

Es conocido que *N. dombeyi* presenta un modo de regeneración catastrófico, el cual se refiere al establecimiento de una población en un período relativamente corto luego de una alteración exógena devastadora (ej. grandes incendios, deslizamientos de tierra, etc.). Las especies que crecen en estos lugares devastados son especies

generalmente intolerantes a la sombra y pioneras. Ellas forman poblaciones coetáneas, para luego dar paso a un bosque heteroetáneo al facilitar el establecimiento de especies tolerantes a la sombra (Donoso, 1993). En un estudio de regeneración realizado por Henríquez (1985), se señala que en lugares donde la cubierta vegetal ha sido removida por fenómenos catastróficos, *N. dombeyi* ha presentado un establecimiento de alrededor de 55 mil plantas por ha.

### **2.3 Datación de incendios a partir de muestras de cicatrices de fuego**

Ciertos disturbios como el fuego y eventos que involucran la abrasión del tronco por arrastre o caída de árboles, rocas u otros detritos, producen la muerte parcial del cambium y la consiguiente formación de cicatrices basales en individuos directamente afectados pero que sobreviven al evento o eventos sucesivos (Kitzberger *et al.*, 2000).

Las heridas causadas por el fuego en los troncos son de diferentes tamaños, dependiendo de la intensidad de los incendios y de la frecuencia. Cuando las quemaduras son superficiales, el tejido es capaz de recuperarse, pero en muchos casos el tejido leñoso se carboniza, llegando incluso a aparecer hueca la base del tronco. El problema más serio que presentan los árboles sobrevivientes a un incendio, más que los daños físicos de las quemaduras, es el aumento de la susceptibilidad a enfermedades y ataque de insectos y hongos. Habitualmente estos árboles se pudren en las raíces y en las bases de los troncos (Donoso, 1981). En términos generales se puede señalar que las coníferas son más combustibles, porque son más resinosas que las latifoliadas, y entre las latifoliadas, las especies caducifolias son menos inflamables que las siempreverdes (Donoso, 1978).

Entre los métodos dendrocronológicos usados para el fechado y reconstrucción de regimenes de disturbios se encuentra la datación por marcas o cicatrices en series dendrocronológicas. Disturbios como el fuego que provocan abrasión son factibles de detectar con este método, a través de marcas discretas producidas en los anillos de los árboles (Kitzberger *et al.*, 2000).

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 eventos anteriores. En el caso de fuego, la formación y posición de cicatrices será función de la temperatura y velocidad de avance del fuego, la altura de las llamas y el grosor de la corteza del árbol afectado (Kitzberger *et al.*, 2000).

Una sección transversal típica de una cicatriz, muestra la marca basal, 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 (Figura 1) que recubre progresivamente la herida (McBride, 1983).

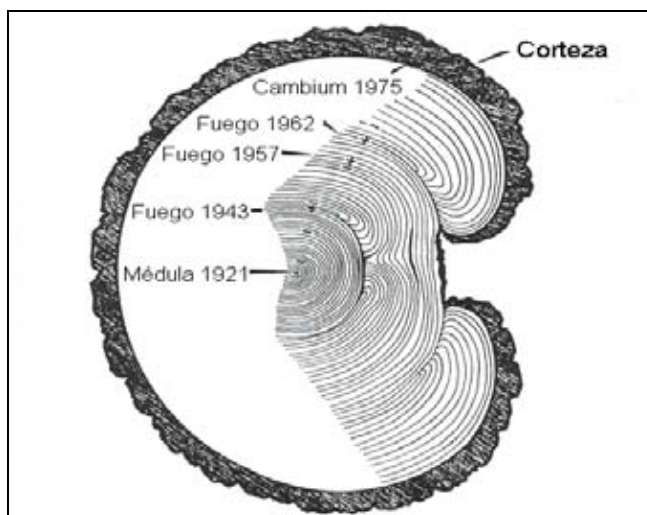


Figura 1. Callo de cicatrización en árbol con tres marcas de fuego (Arno y Sneek, 1977).

Las cicatrices tienden a 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 daño parcial en el cambium. En situaciones de fuego muy intensos y devastadores, el mismo tiende a matar y consumir individuos en lugar de dejar sobrevivientes (Kitzberger *et al.*, 2000).

La estrategia de muestreo depende principalmente del tipo y densidad de árboles con cicatrices en el área. En regímenes de fuego frecuente y de baja intensidad, unos pocos árboles pueden registrar un gran número de fechas de fuego, lo que permite muestrear el 100% de los incendios en áreas reducidas con gran número de cicatrices por individuo (Kitzberger *et al.*, 2000).

La técnica de muestreo más usada en árboles vivos consiste en la extracción de cuñas o secciones parciales de la cicatriz, efectuando dos cortes transversales paralelos a 1-2 cm de distancia entre sí. La sección se libera mediante palanca en la base del corte (Kitzberger *et al.*, 2000). Esta técnica, si es aplicada en forma cuidadosa, no es destructiva y permite muestrear árboles vivos y no depender únicamente de la existencia de troncos muertos o tocones.

Otra forma de detectar fechas de incendio es a partir de la colección de tarugos para la determinación de cohortes o fechas de establecimiento masivo. Este método de reconstrucción de historia de disturbios puede resultar apropiado en regímenes de fuego de alta intensidad que consumen los registros largos de cicatrices y donde el establecimiento es masivo e inmediato luego del incendio (Kitzberger *et al.*, 2000).

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Área de Estudio

El Parque Nacional Tolhuaca, con una superficie de 6.474 ha, se encuentra ubicado en la precordillera andina de la provincia de Malleco, al norte de la IX Región, entre los 38° 10' y 38° 15' de latitud sur y 71° 40' a 71° 51' de longitud oeste (figura 2a). Esta unidad fue creada en el año 1935 y se encuentra a 40 km al norte de la ciudad de Curacautín, con una altitud que comprende entre los 850 y los 1830 m s.n.m. En cuanto a la geomorfología, en dirección este-oeste se observa una zona de cordones montañosos, cuyas elevaciones varían entre 1.500 y 1.600 m s.n.m, entre los cuales existen valles donde se ubican los ríos Malleco y Pichimalleco, con cuencas de origen glacial (Gajardo et al, 2005).

Según la clasificación de Köeppen, el clima es templado lluvioso, con cierta sequía relativa de verano (menos de cuatro meses secos) (Ramírez, 1978); de acuerdo a Amigo y Ramírez (1998), el área en estudio se encuentra en el bioclima templado. Según la estación meteorológica más cercana (Los Guindos, 38°03' lat. S., 71°49' long. O., 440 m s.n.m.), la precipitación promedio anual es de 2.482 mm, presentándose además precipitaciones nivales en invierno (Gajardo *et al.*, 2005). La temperatura media anual es de 12°C, con 1 a 2 meses con precipitaciones inferiores a 30 mm. Los suelos son considerados incipientes, sin claros horizontes genéticos, salvo la presencia de horizontes A1 (de acumulación de materia orgánica) y en áreas de bosques no intervenidos, aparecen horizontes o1 y o2 (entre 1 y 2 cm de espesor); son suelos muy estratificados, sin desarrollo de fuertes estructuras (Peralta, 1976). De acuerdo a observaciones realizadas por el Dr. J. Schlatter<sup>1</sup>, los suelos presentes en el área corresponden a cenizas volcánicas estratificadas con areniscas incluídas.

La vegetación predominante en el PNT está conformada por bosques de *Araucaria-Ñirre*, *Araucaria-Lenga-Coihue* y bosques secundarios de *Raulí-Coihue*. Los bosques de *Araucaria araucana* aparecen por sobre los 1200 m s.n.m, como bosques abiertos y mixtos. Bajo estas altitudes se encuentran los bosques de *Raulí-Coihue* (Ramírez, 1978).

El área de estudio corresponde a las laderas adyacentes a la laguna Malleco y al río del mismo nombre, en la parte sur del Parque Nacional Tolhuaca (figura 2b). Estas laderas se presentan en toda su extensión en exposición sur y con pendientes marcadas y superiores al 20%. Se encuentran cubiertas por bosques adultos de *Coihue-Raulí-Tepa* y particularmente renovales del tipo forestal *Roble-Raulí-Coihue*, puros o mixtos, con un dosel intermedio dominado por *tapa* (*Laureliopsis philippiana*), *tineo* (*Weinmannia trichosperma*) y *trevo* (*Dasyphyllum diacanthoides*). El sotobosque está compuesto principalmente por *colihue* (*Chusquea culeou*) y una

---

<sup>1</sup> Juan Schlatter, Director Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile, comunicación personal. Abril 2006.

variedad de especies de arbustos y herbáceas altoandinas como *Maytenus magellánica*, *Drimys andina* y *Myoschilos oblonga* (Ramírez, 1978).

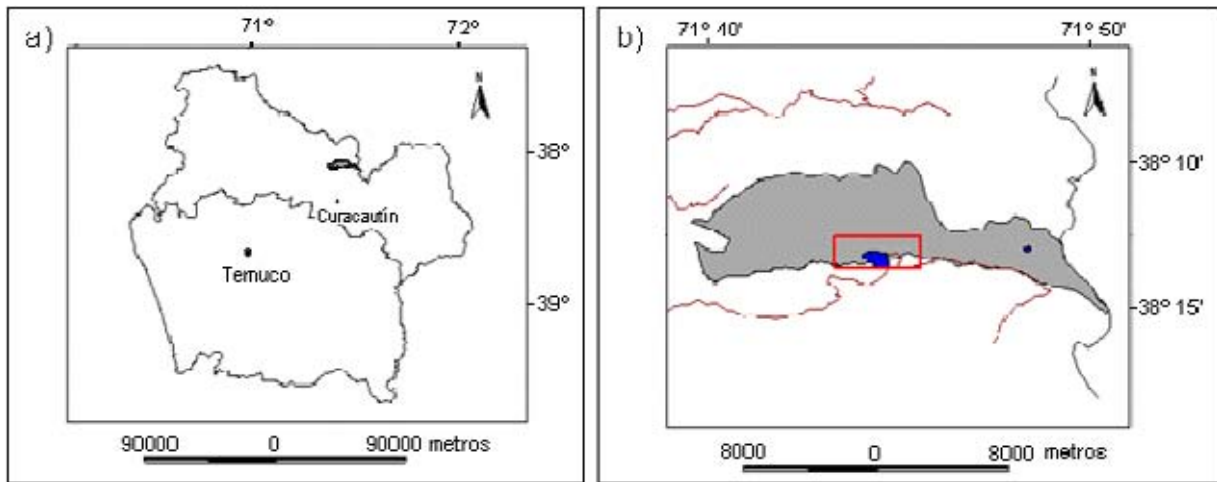


Figura 2. a) Ubicación del Parque Nacional Tolhuaca, al norte de la ciudad de Curacautín, en la novena región y b) Ubicación del área de estudio dentro del P.N. Tolhuaca, la cual corresponde a los alrededores de la laguna Malleco por su lado norte (rectángulo rojo).

### 3.2 División del área de estudio

Para la toma de muestras se delimitaron cuatro zonas de muestreo dentro del área de estudio (Figuras 2b y 3), las cuales cubren en conjunto una superficie aproximada de 400 ha. La razón para la división del área de estudio en zonas se debió a las características del bosque y a la topografía observadas en terreno, la que presenta abundantes quebradas, algunas bastante abruptas, que se definieron en este trabajo como límite entre las distintas zonas. El bosque se presenta en dos situaciones diferentes, cubriendo cada una aproximadamente la mitad del área de estudio, con un área intermedia de traslape. Estas situaciones son renoval de raulí y bosque maduro de coihue y raulí.

El renoval corresponde a un bosque joven multifustal de raulí, originado por un incendio. Esta formación boscosa presenta características bastante homogéneas y se definió como las zonas 1 y 2 del área de estudio. La razón para separar este renoval en dos zonas es por que se encuentra dividido por una gran quebrada que cruza este sector, la cual podría haber dado paso a diferencias entre ambas zonas.

El bosque maduro de coihue y raulí es una situación muy diferente a la del renoval, con grandes árboles de ambas especies y de tamaños heterogéneos, además de abundante presencia de individuos de especies tolerantes como tepa y trevo en el dosel inferior. En la zona 4 eran comunes árboles de coihue de sobre un metro de diámetro, sin embargo, en la zona 3, los individuos de diámetros sobresalientes eran escasos.





Figura 3. Ubicación de las cuatro zonas de muestreo dentro del Parque Nacional Tolhuaca, aledañas a la laguna y al río Malleco (límite aprox. de cada zona en amarillo). Se puede apreciar las grandes quebradas que sirven como límite entre las distintas zonas. En la parte superior de la foto aparecen en tonos grises y amarillentos las áreas quemadas por el incendio del año 2002, apreciándose que los bosques de la parte sur-este no fueron afectados.

### 3.3 Colección de las muestras en terreno

#### 3.3.1 Período de colecta y tipo de muestras colectadas

Las muestras utilizadas para el estudio de la historia de incendios fueron colectadas en noviembre y diciembre del 2005 y marzo del 2006. Estas muestras corresponden a tarugos y secciones de cicatrices de fuego extraídas de árboles vivos de *N. nervosa* y *N. dombeyi*.

#### 3.3.2 Ubicación y extracción de cicatrices

En cada una de las zonas de muestreo se realizó un recorrido y ubicación previa de cicatrices de fuego en árboles vivos de coihue y raulí, con un DAP mínimo de 20 cm. Se probó la dureza de la zona interna del callo de la cicatriz, esto mediante el tacto, ya que si esta zona se presentaba muy blanda, se descartaba la extracción de la muestra por avanzada pudrición. Una vez seleccionados los árboles, se procedió a extraer una cuña adyacente a la cicatriz.

La técnica de muestreo utilizada para tomar estas muestras en árboles vivos, consistió en la extracción de una cuña o sección parcial de la cicatriz, efectuando con motosierra dos cortes transversales paralelos a 2 cm de distancia entre sí. La sección se libera mediante el uso de un cincel y palanca en la base del corte (Kitzberger *et al.*, 2000). En el procedimiento se trata de incluir hasta la médula en la muestra de cicatriz de fuego, según los procedimientos generales descritos por Arno y Sneek (1977) y Agee (1993) (Figura 4).

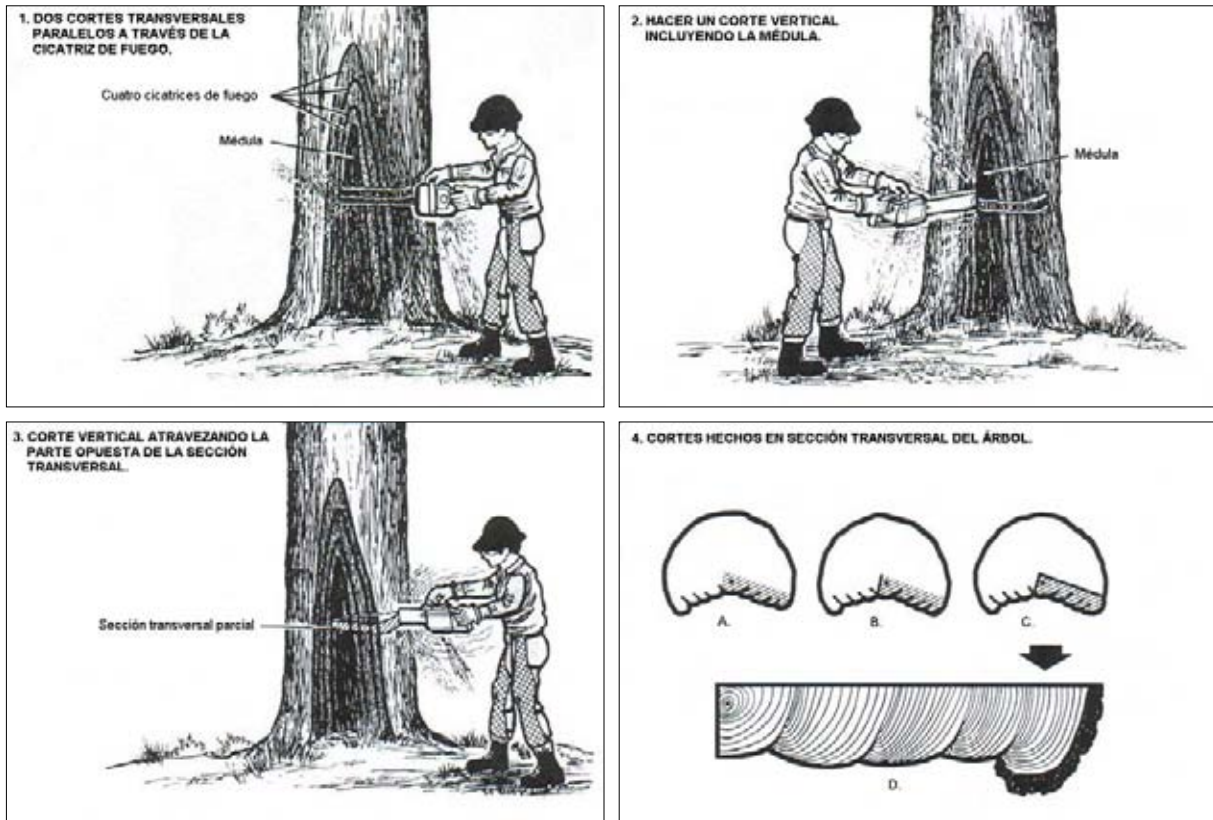


Figura 4. Esquema de extracción de muestras de cicatrices de fuego (modificado de Arno y Sneek, 1977). Nótese que aquí la motosierra es utilizada para liberar la cuña del árbol.

### 3.3.3 Extracción de tarugos para determinar fechas de establecimiento masivo

En base a las características del bosque y del terreno observadas en un reconocimiento previo del área de estudio, se fijó la cantidad de tres puntos de muestreo para tarugos en las zonas 1 y 2, por la mayor homogeneidad del bosque y para las zonas 3 y 4 se fijaron cuatro puntos de muestreo. En cada punto se extrajeron tarugos a alrededor de diez árboles. En las dos primeras zonas, estos puntos se ubicaron en ladera media y a distancias similares entre sí y para las zonas 3 y 4, por la mayor complejidad que presenta el bosque, los puntos se ubicaron en lugares donde se observa grupos de árboles con características de cohorte, producto de algún antiguo incendio ocurrido en el lugar.

Los tarugos fueron extraídos con taladro de incremento en la base del fuste, en árboles vivos de coihue y raulí, incluyendo los de mayores diámetros en el rodal, asumiendo que estos representan los individuos que primero colonizaron el rodal post-disturbio. En los individuos multifustales producto de rebrote de tocón, se taladró el fuste vivo de mayor diámetro.

La información que entregan los tarugos permite conocer fechas de establecimiento masivo o cohortes, producto de incendios de mediana a alta intensidad, los cuales

abren el dosel y permiten el establecimiento de una densa regeneración, tanto vegetativa como de semilla. Estos datos se complementarán con la información entregada por las cicatrices, para la reconstrucción espacial y temporal de los incendios.

### *3.3.4 Información recolectada a árboles muestreados*

La información recolectada de los árboles que se les extrajeron muestras de cicatrices de fuego incluyó: especie, diámetro a la altura del pecho (DAP), ubicación, número de cicatrices visibles y orientación de la cara de la cicatriz. A los árboles que se les tomaron muestras de tarugos, se les registró la especie, DAP y ubicación del sitio de muestreo. La ubicación (coordenadas UTM) se determinó utilizando una unidad manual de posicionamiento global (GPS).

## **3.4 Preparación de las muestras**

Una vez montados los tarugos sobre molduras de madera, se procedió a pulirlas, al igual que las muestras de cicatrices de fuego con una lijadora orbital, con lijas de granulometría descendente, siguiendo la metodología de Stokes y Smiley (1996). Las cicatrices se lijaron por su mejor cara, hasta poder observar claramente los anillos de crecimiento y así poder detectar las marcas de incendio (Arno, 1976).

## **3.5 Determinación de edades**

Para la determinación de edades en los tarugos de incremento, estos se clasificaron en tres categorías de exactitud, en base a la cercanía a la médula alcanzada por cada muestra, calculándose los anillos faltantes con el método geométrico de Duncan (1989). Los tarugos con los que se haya alcanzado el centro o médula del árbol, se consideraron como edad exacta, ya que serán las muestras que indiquen la edad total. Las muestras que no hayan alcanzado la médula y que el número de anillos faltantes estimado fue menor a 10, se clasificaron como edades aproximadas, mientras que los tarugos que tuvieron un número de anillos estimado mayor a 10 fueron tratados como edades mínimas, al igual que las edades obtenidas desde tarugos parciales que no presentaron arcos visibles.

## **3.6 Fechado de incendios**

A partir de las muestras ya preparadas de cicatrices de fuego, se procedió al conteo de los anillos e identificación de fechas de incendio, marcándose cada década con un punto, cada mitad de siglo con dos puntos y cada siglo con tres puntos. Este procedimiento se realizó con lupa binocular en el Laboratorio de Dendrocronología, del Instituto de Silvicultura.

Para la elaboración de las cronologías de fuego se determinaron las fechas calendario de las marcas de incendio en las muestras de cicatrices (figura 1). Estas marcas se caracterizan por la presencia de rajadura en el anillo a lo largo de la banda de crecimiento, presencia de leño con rasgos de carbonización continuo a la

rajadura y crecimiento irregular y curvilíneo a partir de la zona herida o “catface” (Kitzberger *et al.*, 2000).

Para el caso de los tarugos, se determinó la edad de los árboles a partir del conteo total de anillos. La fecha calendario para los anillos, en las muestras de tarugos y cicatrices de fuego fue asignada al año en que comenzó este a formarse, de acuerdo a la convención de Schulman (1956), vigente para el hemisferio sur. Así, el anillo que comenzó a crecer en la primavera del año 2005 se fechó como 2005.

Las muestras de cicatrices de fuego y de tarugos, que por excesiva pudrición o muy mala calidad no permitieron el fechado de incendios o el conteo de los anillos, fueron desechadas del estudio. En este estudio las muestras no fueron cofechadas.

### **3.7 Análisis de datos**

#### *3.7.1 Desarrollo de una cronología de incendios*

Las fechas de incendios obtenidas de las muestras de cicatrices de fuego fueron ingresadas al programa computacional FHX2, desarrollado por Grissino-Mayer (1995), el cual permite crear una representación gráfica para todas las cicatrices, con la cual se aprecia más claramente la ocurrencia histórica de estos eventos. Además con este programa se puede calcular estadísticos básicos de ocurrencia, como el intervalo medio de fuego (IMF), que se interpreta como el número de años que transcurre entre fuegos sucesivos (Kitzberger *et al.*, 2000).

La información obtenida de los tarugos de incremento se utilizó para apoyar la información obtenida a partir de las cicatrices, ya que éstas en algunos lugares no existen o son muy escasas. Los tarugos permiten detectar grupos de edad o cohortes que indicarían también áreas con un establecimiento coetáneo con posterioridad a un incendio, pudiendo éste también delimitarse y relacionarse con la información obtenida de fechas de incendio de las cicatrices de fuego. Además, estas cohortes nos pueden señalar cuáles eventos de incendio fueron los que produjeron un establecimiento masivo, indicándonos la severidad e intensidad que estos tuvieron.

#### *3.7.2 Desarrollo de un mapa histórico de fuego*

A partir de coberturas cartográficas en coordenadas UTM del Parque Nacional Tolhuaca y mediante el Software Arc-view, se delimitaron las cuatro zonas de muestreo dentro del área de estudio y dentro de ellas se ingresaron las fechas de incendio obtenidos de cada árbol muestreado con cicatrices, en conjunto con los registros de fechas de establecimiento masivo o cohortes obtenidos en los puntos de muestreo de tarugos. Posteriormente, se individualizaron espacialmente las muestras correspondientes a un incendio específico y con ellas se construyeron mapas individuales aproximados para algunos incendios, logrando así un registro espacial y temporal de la historia de incendios. Para esto se utilizaron las bases digitales del proyecto Catástro del Bosque Nativo (CONAF-CONAMA, 1997).

En conjunto se utilizaron las siguientes evidencias para determinar el área o límite espacial de cada uno de los incendios fechados: a) ubicación y fecha de incendios en cicatrices de *Nothofagus*; b) ubicación y fecha de establecimiento de cohortes de *Nothofagus*; además de c) barreras topográficas. Las barreras topográficas en este caso son las grandes quebradas presentes en el área de estudio.

La reconstrucción espacial se realizó para los incendios que se encontraban fechados por un mínimo de dos muestras de cicatrices y de dos puntos de muestreo de tarugos, ya que un número inferior de muestras resulta insuficiente para su delimitación.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Reconstrucción temporal de los incendios

#### 4.1.1 Cuñas y tarugos colectados y utilizados para el análisis de incendios

Para la reconstrucción de la historia de incendios en los alrededores de la laguna Malleco, dentro del Parque Nacional Tolhuaca, se utilizaron en total 45 muestras de un total de 51 cuñas de cicatrices de fuego colectadas en terreno (cuadro 1, anexo 2) (figura 5). El total de tarugos utilizados en el estudio fue de 128, de los 137 colectados en terreno (cuadro 2, anexo 2), para los catorce puntos de muestreo, dentro de las cuatro zonas (figura 5).

El número de muestras utilizadas con cicatrices de fuego de *N. nervosa* y *N. dombeyi* fue de 38 y 7 respectivamente (cuadro 1, anexo 2). Se detectaron tantas cicatrices de coihue como de raulí en terreno, pero se colectaron de esta última en mayor número, ya que se encontró pudrición interna con mayor frecuencia y en estado más avanzado en las cicatrices de coihue.

El número de tarugos de coihue colectados en los puntos de muestreo también fue menor que el de raulí, debido a que coihue era más escaso en algunas situaciones y a que el método de reproducción más utilizado por raulí fue el vegetativo, el cual, por su rápido establecimiento posterior a los incendios, brindaría datos más exactos para fechar las cohortes, lo que es más deseable para este tipo de estudios.

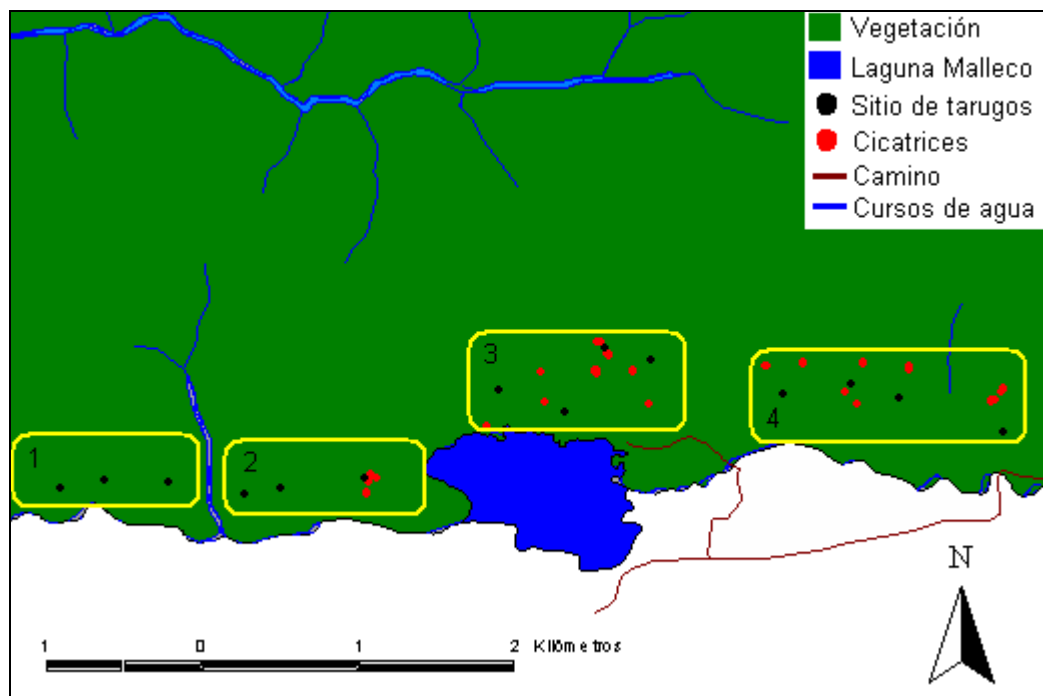


Figura 5. Ubicación de los puntos de muestreo de tarugos y de cicatrices de fuego dentro de cada zona de muestreo en el Parque Nacional Tolhuaca.

#### 4.1.2 Incendios fechados para toda el área de estudio

La cronología de incendios para el área de estudio tiene una amplitud de 320 años, cubriendo desde el año 1685 hasta el año 2005, representando nueve fechas de incendio, siendo el más antiguo el ocurrido en el año 1762 y el más reciente en el año 2001 (figura 6).

El intervalo medio de fuego (IMF) para el área de estudio es de 27 años. Esto considerando todas las fechas de incendio determinadas por medio de cicatrices para el área de estudio. Calculando el IMF para los incendios con a lo menos 3 muestras de cicatrices (1762, 1803, 1860, 1960 y 2001), el IMF sería de 48 años. Esto indica que el número de años que transcurrió entre sucesivos incendios no es muy considerable, lo cual señala que el área de estudio presentó una alta recurrencia de incendios en el período considerado.

De las nueve fechas de incendio determinadas con muestras de cicatrices de fuego, las de 1762 y 2001 se clasificaron como fechas exactas. Las fechas de 1803, 1835, 1860 y 1960 se determinaron en base a la fecha intermedia dentro del rango de años fechados en las diferentes muestras, los cuales variaron entre  $\pm 1$  y  $\pm 2$  años. Las de 1895, 1906 y 1936 se consideraron como fechas de incendio con evidencia débil, por el escaso número de muestras de cicatrices como de tarugos asignables a estos eventos (cuadro 3, anexo 2).

Las fechas de incendio de 1762 y 2001 fueron consideradas como fechas exactas, ya que cuentan con evidencia clara para afirmar el año de ocurrencia. El del año 2001 por ser reciente, se encuentra bastante documentado y no necesita gran corroboración. El incendio de 1762 fue fechado con ocho muestras en este estudio, con una exactitud de  $\pm 3$  años, fechando entre 1760 y 1765. Para este antiguo incendio se cuenta además con información proveniente de otro estudio en curso a cargo de González, M.<sup>2</sup>, el cual señala que en 1762 ocurrió un incendio de magnitudes catastróficas, comparables con las del incendio del 2001, por la amplia superficie cubierta y nivel de destrucción, esto, a partir de cicatrices de fuego cofechadas de *Araucaria araucana*, obtenidas en zonas cercanas, dentro del PNT.

Los incendios de 1835 y 1960 fueron fechados con una exactitud de  $\pm 1$  año, entregando datos entre 1834 y 1836 y entre 1959 y 1961, respectivamente. Las fechas de 1803 y 1860 corresponden a incendios con una exactitud de  $\pm 2$  años, debido a que las muestras fecharon estos incendios entre 1802 y 1805 y entre 1858 y 1862, respectivamente.

Las fechas de incendio obtenidas de 1895, 1906 y 1936, si bien con un bajo número de muestras, fueron consideradas para relacionarlas con los datos de establecimiento de *Nothofagus*.

---

<sup>2</sup> Mauro González, Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile, comunicación personal. Noviembre 2006.



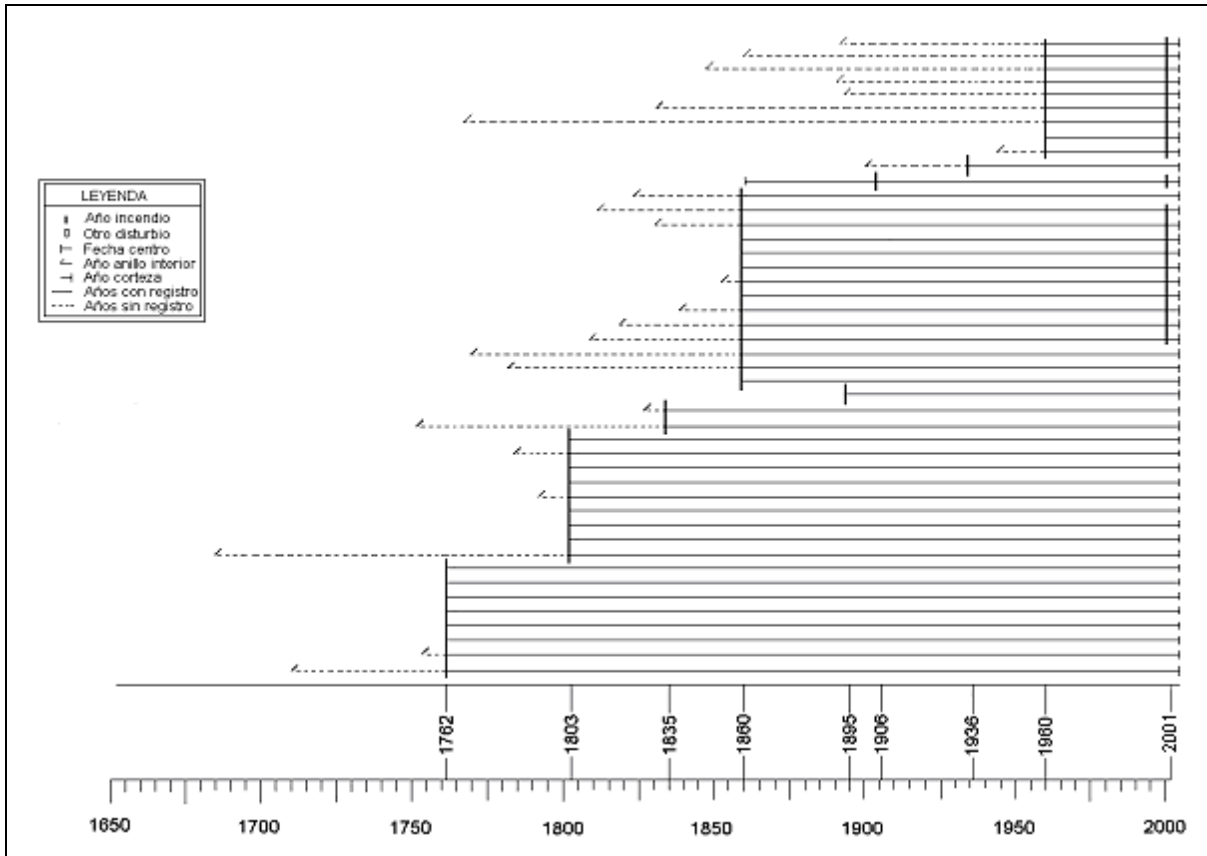


Figura 6. Registro de cicatrices de fuego considerando todos los incendios detectados en el área de estudio, dentro del Parque Nacional Tolhuaca desde el año 1762. Cada línea horizontal representa una muestra de cicatriz de fuego, donde cada línea corta vertical indica la fecha del incendio. Los años indicados verticalmente abajo en el gráfico resumen las fechas de incendio.

#### 4.1.3 Incendios en las zonas 1 y 2

Estas zonas corresponden a un bosque joven tipo renoval, originado vegetativamente desde los tocones de los árboles muertos de raulí, producto del incendio de 1960. Este bosque presenta una alta densidad, con el 100% de los individuos de raulí como multifustales, con 5 a 7 vástagos o fustes. Coihue se presenta con escasos individuos, generalmente aislados, los cuales presentan menor edad que los raulíes. Las especies tolerantes en esta situación son escasas y *Chusquea culeou*, además de otras arbustivas, ocupan el dosel inferior.

El origen de este renoval se pudo datar en base a dos evidencias. La primera fue con tarugos de incremento, extraídos a los árboles en puntos de muestreo dispersos en esta situación, lo cual permitió saber que la edad de esta gran cohorte es la misma en toda su extensión. La segunda evidencia fueron las cicatrices presentes en un reducido grupo de grandes árboles remanentes de raulí, que lograron sobrevivir al poder destructivo del incendio de 1960, producto de la protección que les brindó la quebrada en la cual se encontraban. Estas cicatrices permitieron fechar aquél incendio y comprobar que este originó el renoval. Por ello la importancia de obtener



muestras de árboles ubicados en zonas borde o quebradas, las cuales pueden ser fundamentales para detectar estos incendios catastróficos o de alta intensidad. Los individuos de raulí muestreados con cicatrices de fuego presentaron diámetros entre 40 y 160 cm (figura 7).

Estas zonas son las que presentan los bosques más jóvenes, con el menor número de incendios detectados y a la vez los años de ocurrencia más recientes, los cuales son 1960 y 2001 (Figura 8). La estructura de edades muestra a algunos individuos establecidos un tiempo antes de 1960 (figura 9), los cuales corresponden a un pequeño grupo de cinco árboles encontrados en el segundo sitio de muestreo de tarugos de la zona 1 del renewal, con diámetros y edad un poco mayores, los que debieron haberse establecido luego de un incendio previo (quizás 1936), del cual el incendio de 1960 pudo haber borrado la evidencia. Este evento se pudo encontrar en una muestra de cicatriz colectada en la zona 3. Los diámetros de los árboles muestreados con tarugos en este renewal presentan una distribución normal, típica de bosques coetáneos como resultado de una alteración catastrófica (figura 10).

El incendio del año 2001, si bien fue de alta intensidad en casi la totalidad de las 15.000 ha que cubrió, aquí en esta zona no causó mayores daños. Probablemente condiciones ambientales y topográficas distintas dieron por resultado un incendio de menor intensidad, propagándose más superficialmente, provocando sólo el debilitamiento de estos individuos multifustales de raulí, al quemarse superficialmente su delgada corteza. Estos además generaron nuevos rebrotes de tocón, los que después de tres años de ocurrido este último incendio, ya alcanzan 2 m de altura. Esto muestra claramente la fuerza con que rebrota raulí, en vista de que en este caso no hubo mortalidad y los individuos solo fueron debilitados por el fuego.

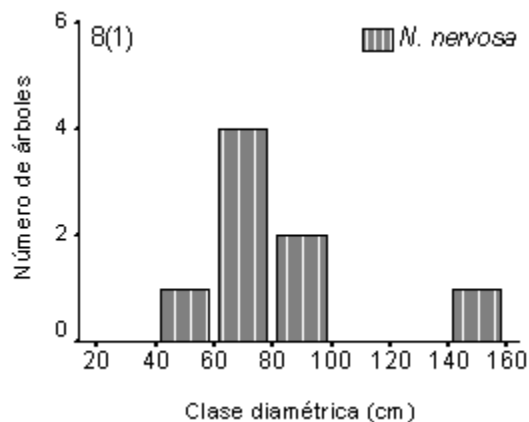


Figura 7. Frecuencia de árboles por clases diamétricas de los individuos muestreados con cicatrices de fuego en la zona 2. En la parte superior izquierda del gráfico se indica el número total de muestras colectadas para esta zona y entre paréntesis el número de muestras desechadas.

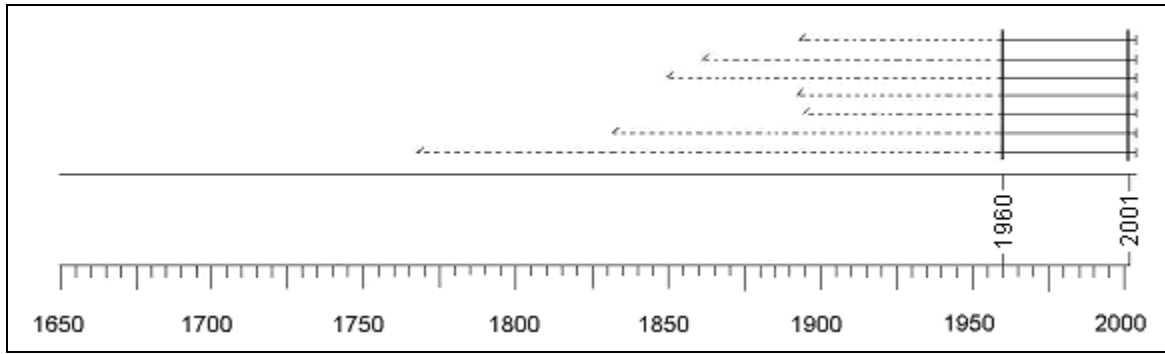


Figura 8. Registro de cicatrices de fuego para la zona 2 del área de estudio. Cada línea horizontal representa una muestra de cicatriz de fuego, donde cada línea corta vertical indica la fecha del incendio. Los años indicados verticalmente abajo en el gráfico resumen las fechas de incendio.

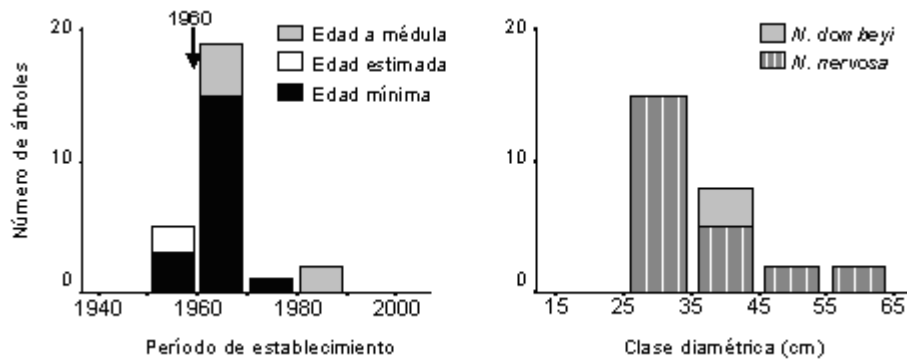


Figura 9. Períodos de establecimiento y clases de diámetros de los árboles muestreados con tarugos, para el conjunto de los tres puntos de muestreo de la zona 1. Las flechas indican fechas de incendio determinados con cicatrices para esta zona.

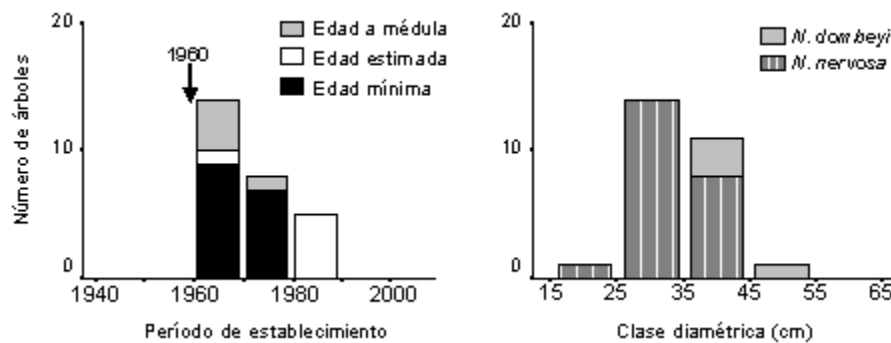


Figura 10. Períodos de establecimiento y clases de diámetros de los árboles muestreados con tarugos, para el conjunto de los tres puntos de muestreo de la zona 2. Las flechas indican fechas de incendio determinados con cicatrices para esta zona.

#### 4.1.4 Incendios en la zona 3.

En esta zona se presenta una situación con un bosque más maduro que el del renoual de las zonas 1 y 2. Coihue y raulí son las especies dominantes con densidades y diámetros similares, en que algunos individuos pueden alcanzar 1 m de diámetro. Las especies tolerantes tepa y trevo se presentan en los doseles inferiores, pero principalmente en quebradas.

Las cuñas de cicatrices fueron extraídas de árboles vivos de diámetros entre 20 a 120 cm, observándose que los mayores diámetros en los árboles muestreados correspondían a coihue (figura 11). Además se puede apreciar que el número de muestras de coihue utilizadas en esta zona, comparativamente con la zona 4, es muy superior (8 y 1 respectivamente) (cuadro 1, anexo 2).

Este bosque se presenta como un mosaico de parches de distinta edad, en el que se fusionan distintas cohortes, producto de diferentes incendios de mediana antigüedad. Los incendios determinados para esta zona fueron: 1860, 1906, 1936, 1960, 2001. El más antiguo y el que además cuenta con mayor cantidad de muestras fechándolo es el de 1860 (figura 12), el que originó también una gran cohorte, la cual puede indicar que este incendio tuvo una intensidad moderada a alta, ya que provocó un vigoroso establecimiento de raulí y coihue, pero dejando algunos árboles sobrevivientes o remanentes con cicatrices.

La línea horizontal número 4 (figura 12), corresponde a una muestra de cicatriz de fuego colectada a un árbol de raulí, que presenta su anillo central o medular indicando que este individuo se estableció en 1862 o probablemente al año siguiente del incendio de 1860, mediante rebrote de tocón.

En los puntos 1 y 2 de muestreo de tarugos (figuras 13 a y b), los incendios de 1960 y probablemente el de 1936 generaron cohortes producto del establecimiento de *Nothofagus*, el cual es masivo para el incendio de 1960, producto de su alta intensidad, propia de un incendio de magnitudes catastróficas. Estos puntos de muestreo de tarugos se encuentran en el límite de la superficie cubierta por ambos incendios, ya que un poco más al este, la única cohorte presente es la producida por el incendio de 1860, en los puntos 3 y 4 de muestreo de tarugos (figuras 13 c y d).

El incendio de 1960 dejó escasos árboles remanentes con cicatrices. Probablemente este incendio borró evidencias del incendio de 1860 en algunos sectores, lo que hace parecer que la superficie del incendio más antiguo sea más reducida.

El incendio del año 2001 presenta abundantes cicatrices en esta zona (figura 12), pero los daños no fueron de gran severidad, sólo en pequeñas áreas, ya que aquí este incendio comenzó a detener su avance.

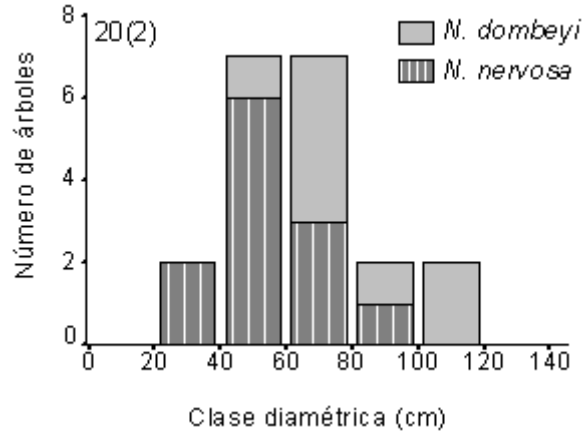


Figura 11. Frecuencia de árboles por clases diamétricas de los individuos muestreados con cicatrices de fuego en la zona 3. En la parte superior izquierda del gráfico se indica el número total de muestras colectadas para esta zona y entre paréntesis el número de muestras desechadas.

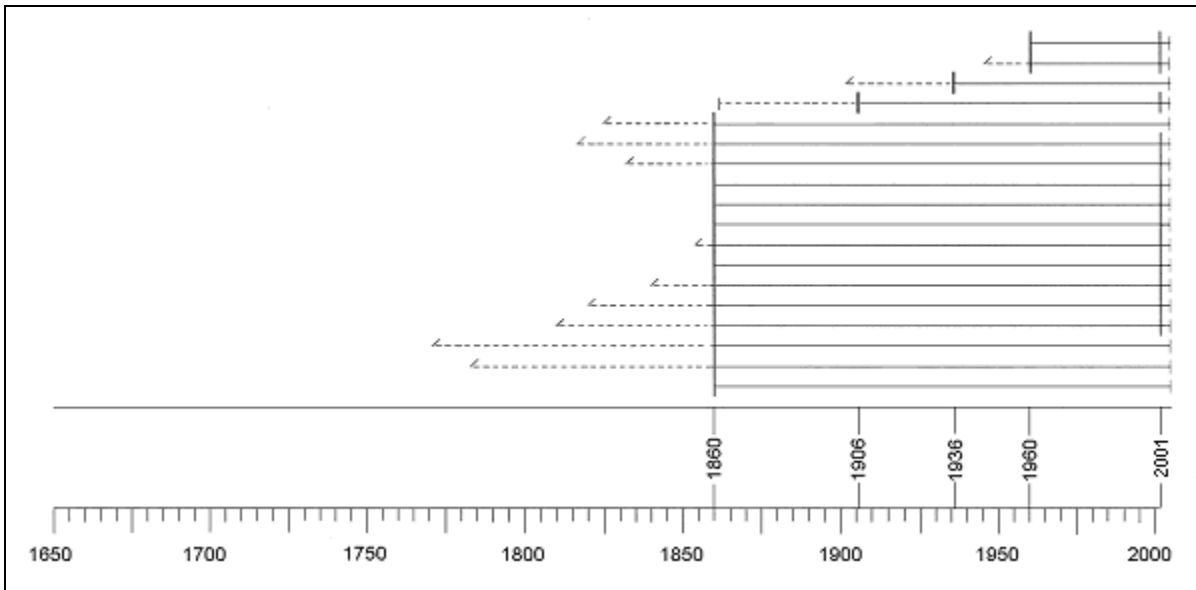


Figura 12. Registro de cicatrices de fuego considerando los incendios que afectaron la zona 3 del área de estudio. Cada línea horizontal representa una muestra de cicatriz de fuego, donde cada línea corta vertical indica la fecha del incendio. Los años indicados verticalmente abajo en el gráfico resumen las fechas de incendio.

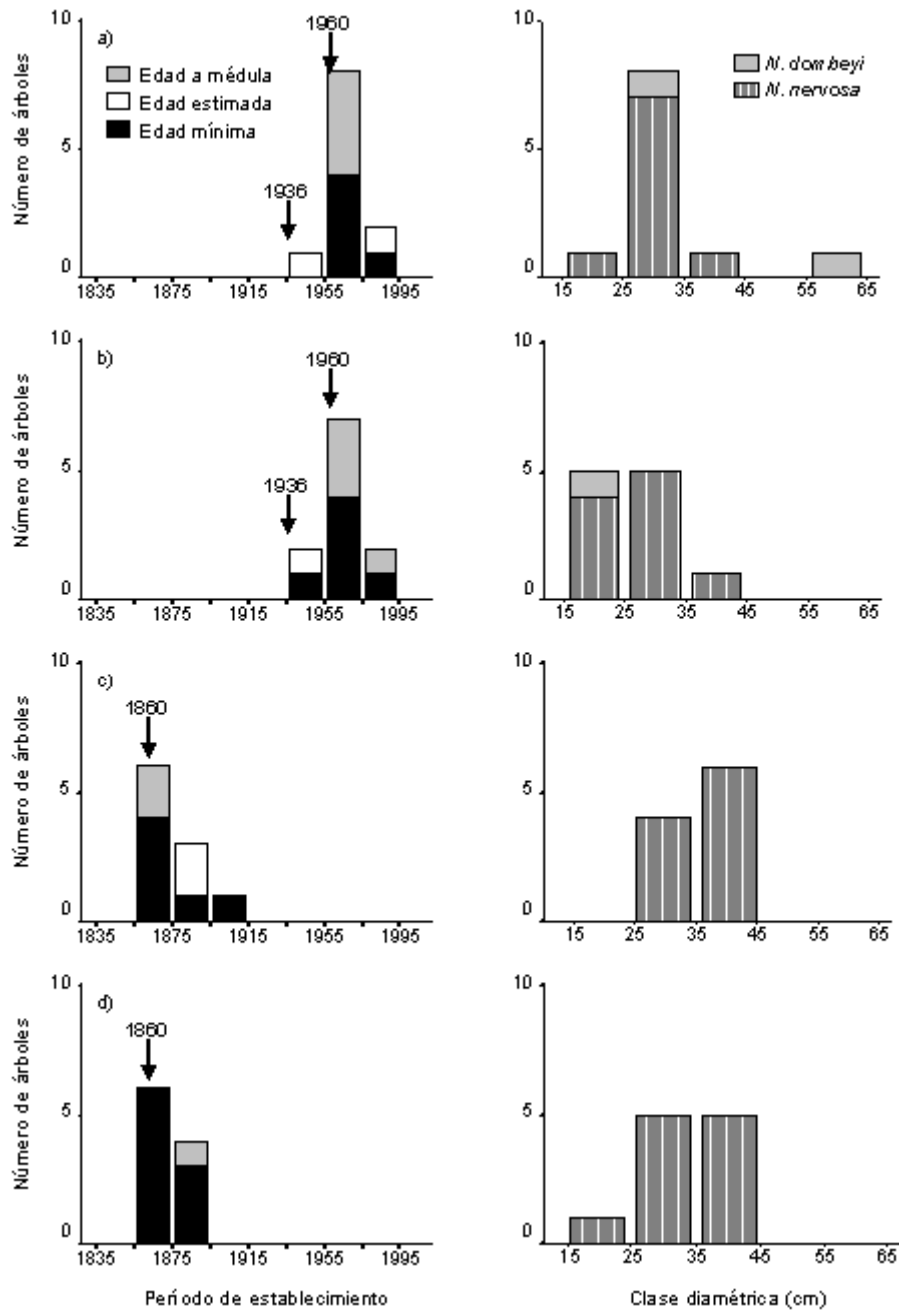


Figura 13. Períodos de establecimiento y clases de diámetros para los árboles muestreados con tarugos en los cuatro puntos de muestreo de la zona 3, donde las letras a), b), c) y d) corresponden a los sitios 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Los períodos de establecimiento aparecen en clases de edad de veinte años. Las flechas indican fechas de incendio determinados con cicatrices para esta zona.

#### 4.1.5 Incendios en la zona 4.

Las cuñas de cicatrices fueron extraídas de árboles vivos de diámetros entre 10 a 140 cm (figura 14), observándose que entre los mayores diámetros se encuentra el único coihue muestreado para esta zona (cuadro 1, anexo 2), el cual fue desechado del estudio por excesiva pudrición. Esto puede indicar que las muestras de raulí conservan mejor los registros de antiguos incendios que coihue, logrando de esta forma una mayor profundidad temporal del registro.

En esta zona se extrajo el mayor número de muestras de cicatrices dentro del área de estudio (23), pero a la vez se desechó la mayor cantidad (3), esto, por la calidad inferior de las muestras, presentándose en un estado más avanzado de pudrición. Se observó en terreno cicatrices en árboles de mayor diámetro a los muestreados, pero a medida que aumentaba el tamaño de los árboles, la calidad de las muestras era aún más deficiente por su avanzado estado de pudrición.

En esta zona el bosque se presenta en un estado aparentemente más avanzado sucesionalmente que el de la zona 3. Coihue y raulí son las especies dominantes y se presentan con gran tamaño, pero principalmente coihue, del cual es común encontrar individuos de sobre 1 m de diámetro, lo que le confiere características de bosque adulto. Sin embargo, analizando los datos se determinó que la zona 4 presenta varios incendios y períodos con pulsos de establecimiento como resultado de incendios. Esto se debería a que los eventos que aquí han ocurrido no han sido de gran intensidad, ya que han permitido la sobrevivencia de individuos de cohortes más viejas.

Los incendios aquí detectados son los de 1762, 1803, 1835 y 1895 (figura 15), lo que la convierte en la zona con los eventos más antiguos, además de ser la única que no fue afectada por el incendio de magnitudes catastróficas del año 2001. Esto puede indicar que esta zona ofrece cierta protección o refugio frente a los incendios, lo que permite la sobrevivencia de la población a grandes incendios como el antiguo de 1762, (comparable al de 2001 en cuanto a magnitud), con varios incendios posteriores de menor intensidad.

Los incendios con mayor número de cicatrices en esta zona son los dos más antiguos, 1762 y 1803 (Figura 15), los cuales deben haber sido de intensidad moderada, ya que provocaron ciertos niveles de establecimiento, pero con individuos aislados, dejando además un buen número de cicatrices, pero dispersas en el bosque.

Los cuatro incendios ocurridos en esta zona provocaron pulsos de establecimiento, pero no tan distintivos, ya que las diferentes cohortes se encuentran entremezcladas en los distintos puntos de muestreo, siendo menos evidente para el incendio de 1762 (figura 16 d).

Se presenta una gran cohorte en el período entre 1935 y 1955 (figura 16 a), la cual seguramente no es resultado del fuego, ya que no se detectó una cicatriz fechando un incendio en ese período dentro de la zona 4. Probablemente ésta cohorte se produjo con posterioridad a una antigua extracción, ya que ésta ocupa una pequeña superficie y es un sector cercano a un antiguo camino.

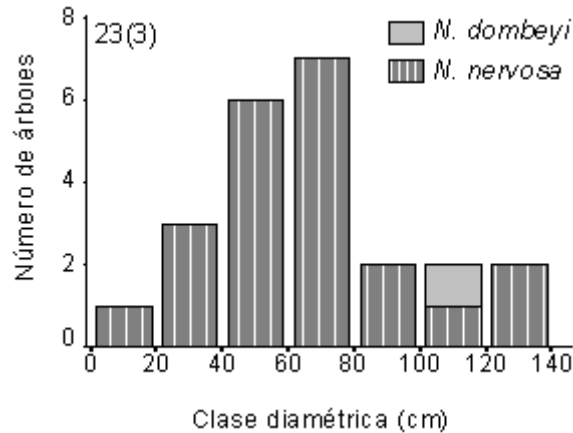


Figura 14. Frecuencia de árboles por clases diamétricas de los individuos muestreados con cicatrices de fuego en la zona 4. En la parte superior izquierda del gráfico se indica el número total de muestras colectadas para la zona y entre paréntesis el número de muestras desechadas.

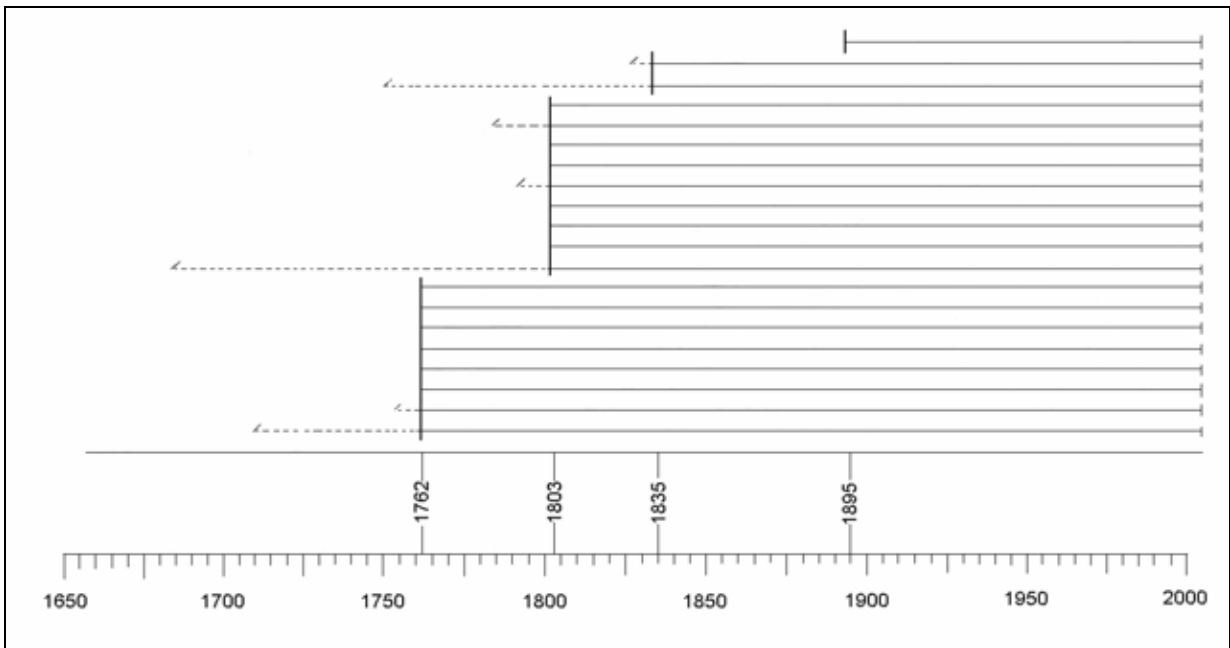


Figura 15. Registro de cicatrices de fuego considerando los incendios que afectaron la zona 4 del área de estudio. Cada línea horizontal representa una muestra de cicatriz de fuego, donde cada línea corta vertical indica la fecha del incendio. Los años indicados verticalmente abajo en el gráfico resumen las fechas de incendio.

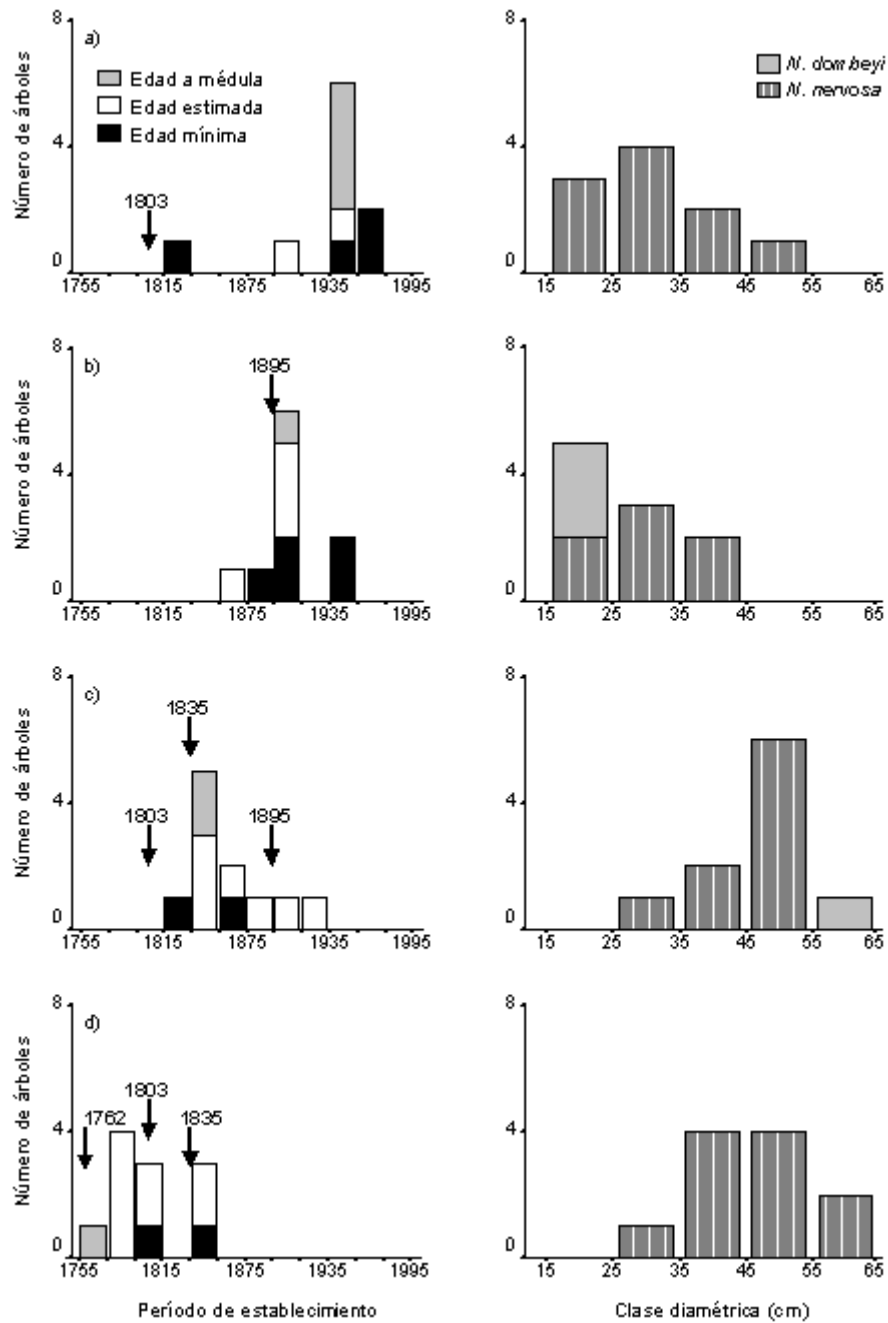


Figura 16. Períodos de establecimiento y clases de diámetros para los árboles muestreados con tarugos en los cuatro puntos de muestreo de la zona 4, donde las letras a), b), c) y d) corresponden a los sitios 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Los períodos de establecimiento aparecen en clases de edad de veinte años. Las flechas indican fechas de incendio determinados con cicatrices para esta zona.



## 4.2 Reconstrucción espacial de los incendios

La reconstrucción de la superficie y severidad de los incendios indican que el área de estudio ha sido afectada por una mezcla de incendios poco frecuentes de reemplazo de rodal (severidad alta) y de incendios superficiales (severidad baja) más frecuentes. Esto señala que la intensidad de un incendio puede variar, entre otras cosas, en función de la estructura del combustible disponible en los distintos momentos y lugares (González *et al.*, 2005).

Se construyeron mapas individuales aproximados para los seis incendios que cuentan con suficiente información, proveniente tanto de muestras de cicatrices de fuego como de tarugos. Estos son 1762, 1803, 1835, 1860, 1960 y 2001. Para las fechas de incendio de 1895, 1906 y 1936, por contar con evidencia débil e insuficiente en cuanto a muestras, no se les reconstruyó su extensión espacial.

En primer lugar, se puede apreciar que los incendios no han cubierto completamente el área de estudio, la cual corresponde a la ladera de exposición sur sobre el valle del río y laguna Malleco. No se descarta que la superficie real de aquellos incendios haya sido más amplia que la detectada. En algunos de los incendios se observó cierto traslapeo en el área cubierta o afectada (ej. 1762, 1803, 1835).

Los incendios de 1762, 1803 y 1835 (figuras 17, 18 y 19) cubren aproximadamente superficies muy similares dentro del área de estudio. Probablemente estos provenían de las partes más altas del Parque o desde el lado este y fueron detenidos por una zona pantanosa que está ubicada en lo que corresponde al límite entre las zonas 3 y 4, además del río de la parte sur, correspondiente al límite del Parque.

El área cubierta por el incendio de 1860 (figura 20) es más localizada y reducida que la de los eventos de 1960 y 2001, ocupando un sector más restringido de la parte norte de la laguna Malleco. Probablemente, su alta severidad o catastrofismo no dejó evidencias que puedan ser usadas para delimitar su extensión real. El área del incendio de 1960 limita con la del incendio de 1860, existiendo la posibilidad de que la superficie del evento más antiguo haya sido mayor, pero que el incendio de 1960, por su poder destructivo, haya borrado la evidencia en algunos sectores.

Los incendios de 1960 y 2001 (figuras 21 y 22), presentan una gran similitud en cuanto al área afectada, observándose que estos se propagaron al norte y oeste de la laguna Malleco. Probablemente en el caso de 1960 el fuego provino de las partes más altas del Parque, descolgándose hacia abajo por las laderas, como ocurrió en el año 2002.

El hecho de que los incendios más recientes tiendan a ocupar sectores ubicados más al oeste, en comparación con los más antiguos que cubrían sectores más al este en el área de estudio, se debe, entre otras cosas, a que los vecinos que se establecieron en los alrededores del parque, lo hicieron principalmente por el lado oeste, realizando roces para habilitar terrenos, los cuales afectaron este lado del Parque.

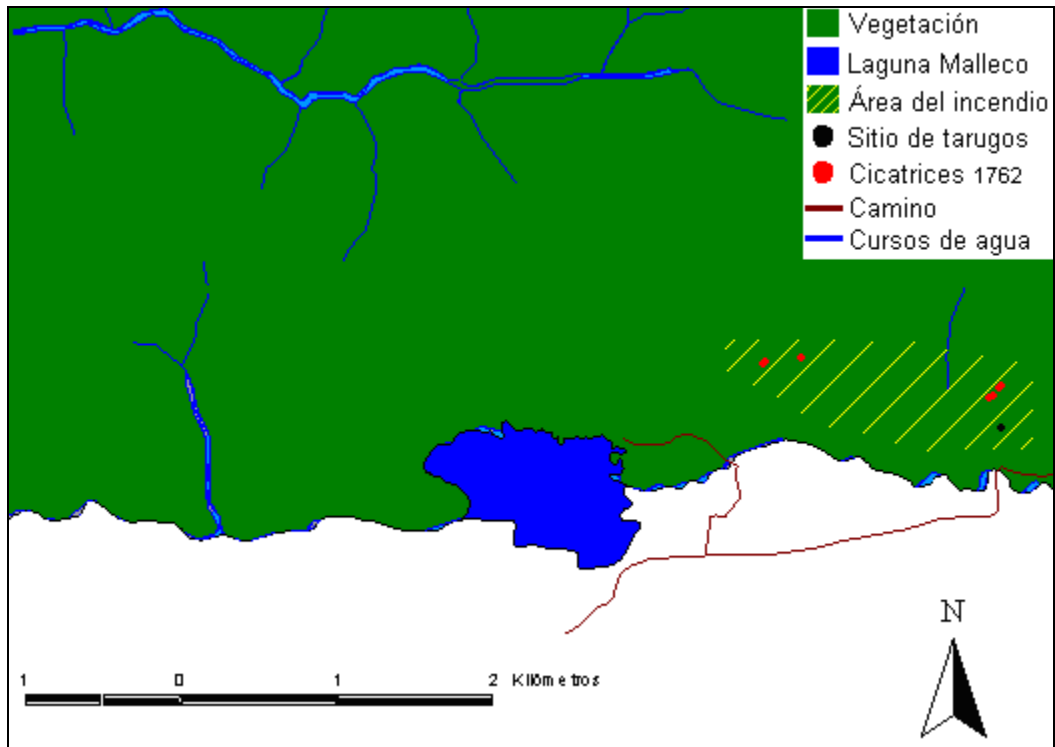


Figura 17. Superficie aproximada del incendio de 1762 dentro del área de estudio, a partir de la información obtenida mediante cicatrices y tarugos.

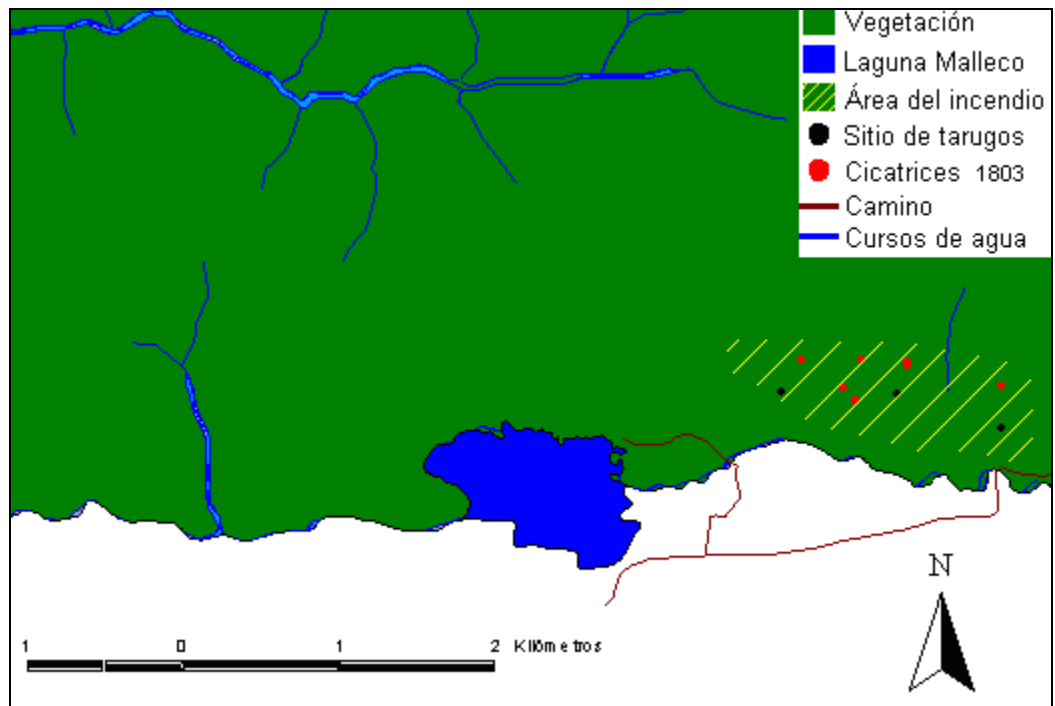


Figura 18. Superficie aproximada del incendio de 1803 dentro del área de estudio, a partir de la información obtenida mediante cicatrices y tarugos.

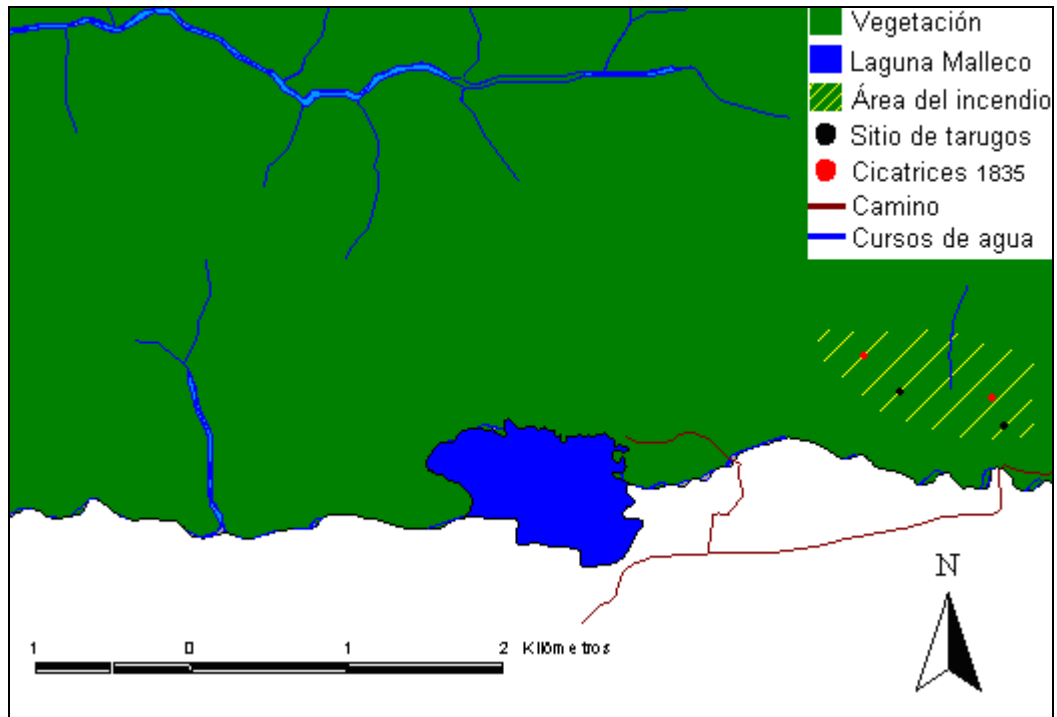


Figura 19. Superficie aproximada del incendio de 1835 dentro del área de estudio, a partir de la información obtenida mediante cicatrices y tarugos.

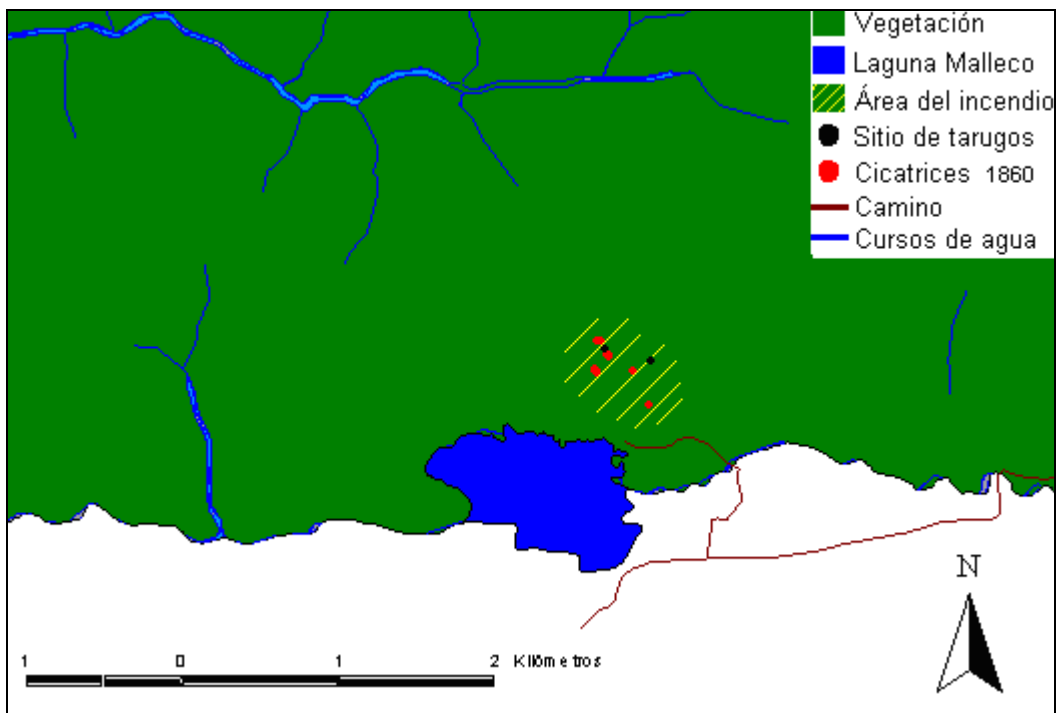


Figura 20. Superficie aproximada del incendio de 1860 dentro del área de estudio, a partir de la información obtenida mediante cicatrices y tarugos.

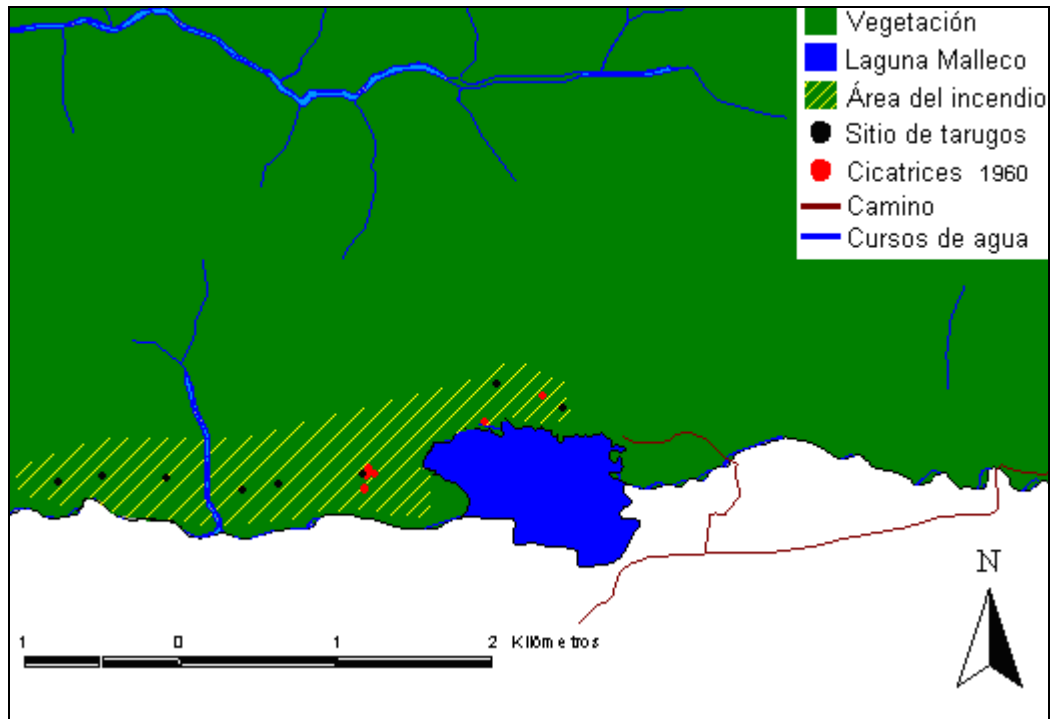


Figura 21. Superficie aproximada del incendio de 1960 dentro del área de estudio, a partir de la información obtenida mediante cicatrices y tarugos.

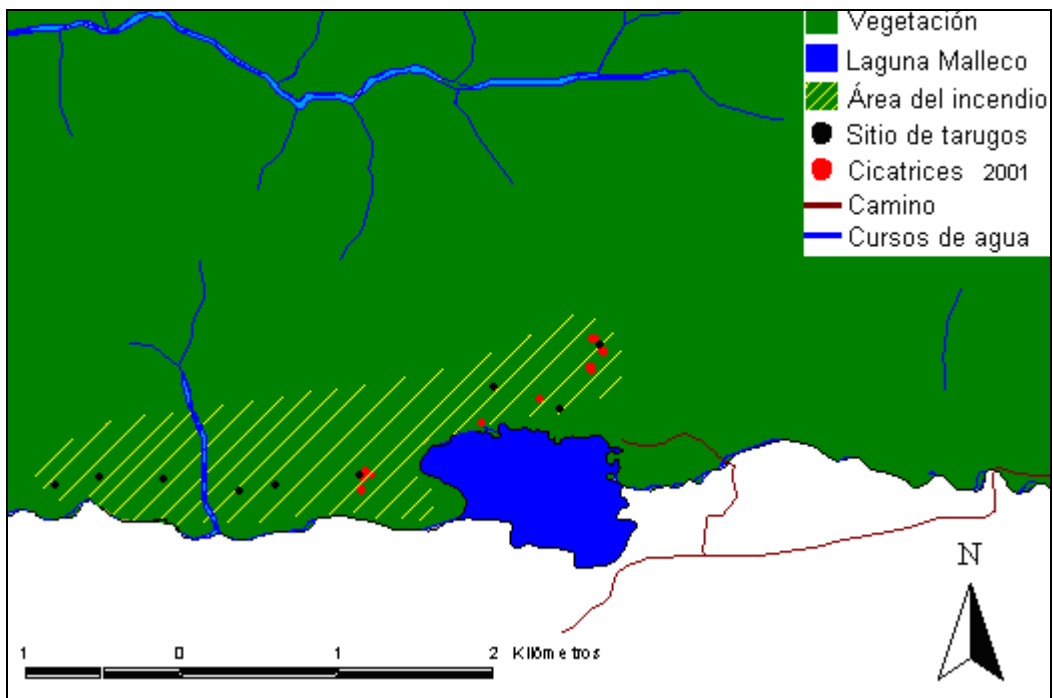


Figura 22. Superficie aproximada del incendio de 2001 dentro del área de estudio, a partir de la información obtenida mediante cicatrices y tarugos.

### 4.3 Rol del fuego en la dinámica de los bosques de *Nothofagus*

Los incendios forestales originan áreas secundarias que promueven procesos sucesionales iniciales diferentes y más rápidos que los originados en áreas primarias, producto de grandes alteraciones como deslizamientos de tierra o erupciones volcánicas. Adaptando al presente bosque el modelo diseñado por Oliver (1981) para los estados de desarrollo de un bosque luego de un gran disturbio; los diferentes parches ubicados dentro del área de estudio se presentan en distintos estados de desarrollo producto de incendios, teniendo a las zonas 1 y 2 en la etapa de exclusión de fustes, por la alta densidad de individuos y con una alta competencia entre ellos; y a las zonas 3 y 4 en una situación intermedia entre reiniciación de sotobosque y bosque adulto.

Normalmente en estos bosques, cuando se produce una alteración de tipo catastrófico como un incendio, la especie colonizadora es *N. dombeyi*, la cual lo logra gracias a su abundante producción de semillas, que se ubican entre las más pequeñas de los *Nothofagus* y pueden ser fácilmente dispersadas por el viento (Donoso, 1993). Estas semillas germinan en suficiente proporción (10-20%) y durante el tiempo necesario como para establecer un bosque coetáneo en un lapso de 10 años e incluso más en áreas de gran superficie (Veblen *et al.*, 1996).

Por la periodicidad de incendios ocurridos en las laderas del área de estudio se podría esperar una gran dominancia de Coihue. Sin embargo, dependiendo de las condiciones y la magnitud de la alteración, es posible en algunas situaciones que raulí pueda invadir el área. Esta especie es de semilla bastante más grande y más tolerante que coihue, pudiendo haber crecido mejor por la protección lateral que le brindó esta especie pionera (Donoso, 1993).

En general, se puede señalar que la presencia de raulí es bastante importante dentro del área de estudio, debido principalmente a que ésta ladera se presenta en toda su extensión en exposición sur, lo cual favorece el desarrollo de esta especie (Donoso, 1978; Donoso, 1981a). El rápido establecimiento vegetativo de raulí en algunas situaciones pudo haber dificultado también la ocupación de plántulas de coihue, lo cual podría explicar la escasa presencia de esta especie en el renoval de las primeras dos zonas.

Con este estudio se puede confirmar que los paisajes forestales chilenos y especialmente los bosques dominados por *Nothofagus*, están formados por un mosaico de parches producto de alteraciones de distinta severidad y extensión, convirtiendo a los incendios forestales en el tipo de alteración que más ha modificado la estructura y composición de los bosques en la cordillera andina de esta región.

## 5. CONCLUSIONES

La cronología de incendios para el área de estudio tiene una amplitud de 320 años, cubriendo desde el año 1685 hasta el año 2005 y presenta nueve fechas de incendio, siendo el más antiguo el ocurrido en el año 1762 y el más reciente en el año 2001.

El intervalo medio de fuego es de 27 años, considerando todos los incendios fechados dentro del área de estudio y para los incendios con a lo menos 3 muestras de cicatrices el IMF sería de 48 años, con lo que se puede indicar que entre los disturbios que han afectado estos bosques, los incendios han tenido un rol clave en su dinámica, lo que ha permitido la dominancia de los *Nothofagus*.

De las nueve fechas de incendio determinadas dentro del área de estudio, a lo menos uno ha presentado una alta intensidad, el cual ocurrió en 1960 y originó el establecimiento de un nuevo rodal. Uno de intensidad moderada a alta, ocurrido en 1860, con presencia de abundantes cicatrices y un gran pulso de regeneración, en un área no muy extensa. Los siete incendios restantes presentaron intensidades más moderadas, al dejar menor cantidad de cicatrices y formar cohortes o pulsos de regeneración más escasos.

El mecanismo más utilizado por raulí para su establecimiento post-incendio es mediante brote vegetativo, el cual es rápido y vigoroso, formando cohortes notorias, lo que brinda datos más exactos para fechar el año de establecimiento, lo cual es más deseable para este tipo de estudios.

En las especies estudiadas fue poco común fechar más de un incendio en una misma cicatriz, ya que la madera comienza a descomponerse desde la zona de cambium quemada hacia el interior del fuste, haciendo difícil datar el incendio más antiguo en estos casos. Coihue presentó mayor pudrición en las muestras de cicatrices de fuego que raulí, por lo que se recomienda para estudios futuros el uso de muestras principalmente de raulí.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Agee, J. K. 1993. Fire Ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press, Washington, DC. 493 p.
- Amigo, J. y C. Ramírez. 1998. A bioclimatic classification of Chile: woodland communities in the temperate zone. *Plant Ecology (Holanda)* 136(1): 9-26.
- Arno, S. F. 1976. The historical role of fire on the Bitterroot National Forest. Research Paper INT-187, USDA Forest Service, Tucson, AZ. 31 p.
- Arno, S. y K. Sneek. 1977. A method for determining fire history in coniferous forests of the mountain west. General Technical Report INT-42, USDA Forest Service, Tucson, AZ. 28 p.
- Brown, P. M.; Kaufmann, M. R. y W. D., Shepperd. 1999. Long-term, landscape patterns of past fire events in a montane ponderosa pine forest of central Colorado. *Landscape ecology* 14, 513-532.
- Burschell, P.; Gallegos, C.; Martínez, O. y W., Moll. 1976. Composición y dinámica regenerativa de un bosque virgen mixto de Raulí y Coigüe. *Bosque (Chile)* 1(2): 55-74.
- CONAF-CONAMA. 1997. Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe final. Santiago, Chile.
- Di Castri, F; E. Hajek. 1976. Bioclima de Chile. Santiago de Chile. Universidad de Chile. 128 p.
- Donoso, C. 1978. La Silvicultura de *Nothofagus* en Chile. Departamento de Silvicultura y Conservación, Universidad de California, Berkeley, California. 102 p.
- Donoso, C. 1981a. Ecología Forestal. El Bosque y su Medio Ambiente. Santiago, Chile, Editorial Universitaria. 369 p.
- Donoso, C. 1981b. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Documento de trabajo N° 38. Investigación y desarrollo forestal (CONAF, PNUD-FAO) (Publicación FAO Chile), Santiago. 70 p.
- Donoso, C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 483 p.
- Duncan, R. P. 1989. An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in kahikatea (*Dacrycarpus dacrydioides*). *New Zealand Natural Sciences* 16: 31-37.

- Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile, Editorial Universitaria. 165 p.
- Gajardo, R; Luebert, F y M. Estay. 2005. Ensayo de una tipología de estaciones forestales en el Parque Nacional Tolhuaca. *Bosque (Chile)* 26(2): 47-56.
- González, M. E. 2002. Fire history of *Araucaria-Nothofagus* forests in the Andean cordillera of south-central Chile. Ph.D Thesis, University of Colorado, Boulder, Colorado, USA. 158 p.
- González, M.; T. T. Veblen y J. Sibold. 2005. Fire history of *Araucaria-Nothofagus* forests in Villarrica National Park, Chile. *Journal of Biogeography* 32: 1187-1202.
- Grissino-Mayer, H. D. 1995. Tree-ring reconstructions of climate and fire at El Malpais National Monument, New Mexico, Ph.D Thesis, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA. 388 p.
- Henríquez, M. 1985. Estrategias regenerativas de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. y *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. en el tipo forestal Coigüe-Raulí-Tepa en la cordillera de los Andes, provincia de Valdivia. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 62 p.
- Hoffmann, A. 1982. Flora silvestre de Chile. Zona Austral. Árboles, arbustos y enredaderas leñosas. Ed. Fundación Claudio Gay. Santiago, Chile. 258 p.
- INFOR y CONAF, 1998a. Potencialidad de especies y sitios para una diversificación silvícola nacional. Monografía de coigüe (*Nothofagus dombeyi*). 113 p.
- INFOR y CONAF, 1998b. Potencialidad de especies y sitios para una diversificación silvícola nacional. Monografía de raulí (*Nothofagus alpina*). 91 p.
- Julio, G. y G. Giroz. 1975. Notas sobre el comportamiento del fuego y su aplicación en el control de incendios forestales. *Bosque (Chile)* 1(1): 18-25.
- Kitzberger, T. y T. T. Veblen. 1999. Fire-induced changes in northern Patagonian landscapes. *Landscape Ecology*. 14: 1-15.
- Kitzberger, T.; T. T. Veblen y R. Villalba. 2000. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. En: *Dendrocronología en América Latina*. F. A. Roig. (Comp.) EDIUNC, Mendoza, Argentina. pp. 17-73.
- Martínez, O. 1993. Nuevo límite sur del área de distribución de *Nothofagus alpina* (Mull.) Dim., Fagaceae, *Bosque (Chile)* 14 (1): 73-74.



- M<sup>o</sup>Bride, J. R. 1983. Analisis of tree rings and fire scars to stablish fire history. Tree-Ring Bulletin 43: 51-67.
- Medina, G. y J. Ojeda. 1972. Alcances sobre el comportamiento regenerativo de raulí (*Nothofagus alpina*) (Poepp. et Endl.) Oerst. y sus principales especies asociadas. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 88 p.
- Ovalle, P. 1996. Estructura y dinámica de bosques ecotonales de altura de Coihue-Raulí en la Cordillera de Los Andes en Quilalelfu, provincia de Valdivia. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 74 p.
- Oliver, C. D. 1981. Forest development in North America following major disturbances. Forest Ecology and Manamagement 3: 153-168.
- Peralta, M. 1976. Uso, clasificación y conservación de suelos. Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero, Santiago, Chile. 337 p.
- Ramírez, C. 1978. Estudio florístico y vegetacional del Parque Nacional Tolhuaca. Museo Nacional de Historia Natural. Publicación ocasional N<sup>o</sup> 24. 23 p.
- Rodríguez, R.; O. Matthei y M. Quezada. 1983. Flora arbórea de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. Chile. pp. 241-242
- Stokes, M. y T. Smiley. 1996. Introduction to Tree-Ring Dating. University of Chicago Press. 73 p.
- Tortorelli, L. A. 1947. Los incendios de bosques en la Argentina. Ministerio de Agricultura, Buenos Aires, Argentina.
- Veblen, T. y D. Ashton. 1978. Catastrophic influences on the vegetation of the Valdivian Andes, Chile. Vegetatio 36 (3): 149-167.
- Veblen, T.T. y D.C. Lorenz. 1987. Post-Fire stand development of Austrocedrus-Nothofagus forests in Patagonia. Vegetatio 73: 113-126.
- Veblen, T.; Kitzberger, T.; Burns, B. y A. Rebertus. 1996. Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques andinos del sur de Chile y Argentina. Ecología de los bosques nativos de Chile. 1<sup>a</sup> ed. Santiago, Chile. Editorial Universitaria v. 9. pp. 169-198.

## **ANEXOS**

## **Anexo 1**

*Abstract and Keywords*

## ABSTRACT

A study of the history of forests fires at forests of Coihue (*Nothofagus dombeyi*) and Raulí (*Nothofagus nervosa*) in the Tolhuaca's National Park (PNT) (38° 10' S) at the Andean pre-mountain range of Malleco's Province, at the north of the IX Region were accomplished in this work. Scarce studies of this type have been made in Chile. The purpose was to characterize the space and temporal pattern of historically occurred fires and to indicate the influence that these have had in the dynamics of *Nothofagus's* forests.

In fires of low intensity to average, the *Nothofagus* can survive and form scars that cover the damage caused by the fire. In high intensity fires these species die easily, provoking like answer a new settlement, that results in cohorts that are used to date in approximate way these fires and to estimate his space extension.

128 increment cores and 45 samples of fire scars were used, to 4 sample zones, from which a fire chronology was obtained with an amplitude of 320 years, covering from the year 1685 to the year 2005, representing 9 dates of fire, which show an enough regular frequency in time. The secondary forest of the two first zones registers only two fires, in 1960 and 2001, of whom the first originated this secondary forest and erased the evidence of possible previous fires. On the other hand, zones 3 and 4, which contain more mature formations, five dates (1860, 1906, 1936, 1960 and 2001) and four dates (1762, 1803, 1835, 1895) of fire register respectively, indicating that occurred fires in these last two zones have been of lower surface and intensity.

Factors like the topography of the zone, facilitates that fires hit the first two zones with higher intensity and brake or minimize the damage of fires at zones 3 and 4, principally in this last, that for example, is the only one that was not affected by the fires of 1960 and 2001.

The frequency of fires unknown for this period of 320 years, show that the fires have had a key role in his dynamics, at least from euro-chileans colonists's arrival, that has permitted the *Nothofagus's* dominance.

**Keywords:** Fire scars, fires, dynamics, *Nothofagus*.

## **Anexo 2**

Muestras colectadas y rangos de exactitud de fechas determinadas

Cuadro 1. Número de cicatrices colectadas por zona y por especie.

Zona \ Especie	<i>Nothofagus dombeyi</i>	<i>Nothofagus alpina</i>
1	0	0
2	0	8 (1)
3	8 (1)	12 (1)
4	1 (1)	22 (2)

( ) N° de muestras de cicatrices desechadas para el estudio

Cuadro 2. Número de tarugos colectados por zona.

Zona	N° de puntos	Total tarugos
1	3	27 (1)
2	3	27 (2)
3	4	42 (2)
4	4	41 (4)
Total	14	137 (9)

( ) N° de tarugos desechados para el estudio

Cuadro 3. Fechas de incendio en el área de estudio, indicando su grado de exactitud.

Fechas estimadas de incendio (año)	Grado de exactitud
1762, 2002	± 0
1835, 1960	± 1
1803, 1860	± 2
1895, 1906, 1936	Evidencia débil

### **Anexo 3**

Datos de terreno para árboles muestreados con cicatrices y utilizados para el estudio

Cuadro 4. Formulario con datos de terreno para los árboles con cicatrices muestreados y utilizados para el estudio en las zonas 2 y 3.

zona	Nº	Esp.	Dap (cm)	Altura cicatriz	Direcc. cicatriz	Ar/Ab Pend.	Nº cicat. Visibles	Elev.	Expos.	Pend.	Coordenadas	
											E	N
2	2001	Na	75	7	E	Ar	2	920	NO	35°	252104	5766928
2	2002	Na	76	5	E	Ar	2	920	NO	35°	252053	5766912
2	2003	Na	88	1,8	E	Ar	2	888	NO	30°	252045	5766826
2	2004	Na	75	3	E	Ar	2	903	NO	30°	252062	5766939
2	2005	Na	45	5,5	E	Ar	2	890	NO	30°	252040	5766831
2	2006	Na	78	3	E	Ar	2	890	NO	30°	252049	5766836
2	2008	Nd	145	4	N	Ar	2	896	SE	30°	252067	5766959
3	031	Na	35	1,2	N	Ar	2	1150	S	34°	253498	5767620
3	032	Na	40	1,5	NE	Ar	2	1150	S	34°	253494	5767632
3	3004	Na	81	1,1	NE	Ab	2	1198	SE	32°	253541	5767805
3	3005	Nd	76	0,8	N	Ar	2	1220	SE	32°	253517	5767809
3	3006	Nd	108	1	N	Ar	2	1216	SE	32°	253584	5767718
3	3007	Nd	78	2	SO	Ab	2	1216	SE	32°	253589	5767711
3	3008	Nd	80	1,2	O	Ar	2	1216	SE	32°	253578	5767724
3	3009	Nd	108	4	SE	Ar	2	1158	S	34°	253508	5767608
3	3010	Nd	81	2	E	Ar	2	1158	S	34°	253512	5767603
3	3011	Na	43	0,8	SO	Ab	2	1158	S	35°	253503	5767612
3	3012	Na	45	2	N	Ar	2	1158	S	35°	253518	5767619
3	3013	Nd	83	2,5	N	Ar	2	1216	S	32°	253580	5767725
3	302	Na	65	1	N	Ar	1	1010	S	30°	253850	5767032
3	304	Na	45	0,5	S	Ar	1	1130	S	42°	253744	5767251
3	305	Na	50	1,5	S	Ar	1	1130	S	40°	253738	5767241
3	306	Na	62	3	N	Ar	2	965	S	25°	253177	5767053
3	307	Na	60	2	NO	Ar	1	1005	S	25°	253156	5767245
3	308	Na	45	2	N	Ar	2	920	S	40°	252803	5766893



Cuadro 5. Formulario con datos de terreno para los árboles con cicatrices muestreados y utilizados para el estudio en la zona 4.

Zona	Nº	Esp.	Dap (cm)	Altura cicatriz	Direcc. cicatriz	Ar/Ab Pend.	Nº cicat. Visibles	Elev.	Expos.	Pend.	Coordenadas	
											E	N
4	4001	Na	15	1	N	Ar	1	950	S	5°	256101	5767125
4	4002	Na	50	0,5	N	Ar	1	950	S	5°	256106	5767131
4	4003	Na	34	0,5	NE	Ar	1	950	S	5°	256094	5767118
4	4006	Na	105	2	N	Ar	1	950	S	5°	256101	5767127
4	4007	Na	58	0,7	W	Ar	1	945	SE	15°	255502	5767278
4	4008	Na	65	1	N	Ar	1	945	SE	15°	255508	5767261
4	4009	Na	77	4	N	Ar	1	945	SE	15°	255498	5767272
4	4012	Na	130	2	N	Ar	1	932	S	18°	255207	5767293
4	4013	Na	75	2,5	N	Ar	1	932	S	18°	255216	5767313
4	4018	Na	53	2	N	Ar	1	936	S	27°	254830	5767308
4	4019	Na	42	1,3	N	Ar	1	936	S	27°	254835	5767298
4	4020	Na	48	2	N	Ar	1	936	S	27°	254821	5767312
4	402	Na	72	1,5	O	Ar	1	1100	S	25°	256039	5767060
4	403	Na	80	4	N	Ar	1	1100	S	25°	256047	5767068
4	404	Na	55	2	N	Ar	1	1100	S	25°	256027	5767049
4	405	Na	50	1,5	E	Ar	1	995	S	20°	255178	5767041
4	406	Na	64	3	E	Ar	1	1050	S	30°	255169	5767031
4	407	Na	74	2	N	Ar	1	1050	S	25°	255093	5767122
4	408	Na	81	2	N	Ar	1	1080	S	40°	254594	5767280
4	409	Na	125	5	N	Ar	1	1080	S	35°	254583	5767271

#### **Anexo 4**

Resultados de fechas de incendio para todas las muestras de cicatrices

Cuadro 6. Fechas de incendio obtenidas de las muestras de cicatrices para las zonas 2 y 3.

Zona	Nº muestra	Especie	Inner ring	Fechado muestra	Fechas de incendios				
					1860	1906	1936	1960	2002
2	2001	Na	1894	1959, 2002				x	x
2	2002	Na	1862	1960, 2002				x	x
2	2003	Na	1850	1960, 2002				x	x
2	2004	Na	1893	1961, 2002				x	x
2	2005	Na	1768	1960, 2002				x	x
2	2006	Na	1895	1961, 2002				x	x
2	2008	Nd	1832	1960, 2002				x	x
3	031	Na	1820	1859, 2002	x				x
3	032	Na	1810	1860, 2002	x				x
3	3004	Na	1813	1860, 2002	x				x
3	3005	Nd	1832	1859, 2002	x				x
3	3006	Nd	1825	1861	x				
3	3007	Nd	-	1860, 2002	x				x
3	3008	Nd	-	1861, 2002	x				x
3	3009	Nd	-	1862, 2002	x				x
3	3010	Nd	1854	1859, 2002	x				x
3	3011	Na	1860	1906, 2002		x			x
3	3012	Na	-	1862, 2002	x				x
3	3013	Nd	1840	1858, 2002	x				x
3	302	Na	1771	1861	x				
3	304	Na	1783	1860	x				
3	305	Na	-	1862	x				
3	306	Na	-	1961, 2002				x	x
3	307	Na	1902	1936			x		
3	308	Na	1946	1960, 2002				x	x

Cuadro 7. Fechas de incendio obtenidas de las muestras de cicatrices para la zona 4.

Zona	Nº muestra	Especie	Inner ring	Fechado muestra	Fechas de incendios			
					1762	1803	1835	1895
4	4001	Na	-	1895				x
4	4002	Na	-	1803		x		
4	4003	Na	1710	1763	x			
4	4006	Na	-	1762	x			
4	4007	Na	1685	1805		x		
4	4008	Na	1785	1804		x		
4	4009	Na	-	1803		x		
4	4012	Na	-	1803		x		
4	4013	Na	1828	1834			x	
4	4018	Na	-	1763	x			
4	4019	Na	1793	1802		x		
4	4020	Na	-	1760	x			
4	402	Na	-	1763	x			
4	403	Na	-	1762	x			
4	404	Na	1752	1836			x	
4	405	Na	-	1802		x		
4	406	Na	-	1803		x		
4	407	Na	-	1803		x		
4	408	Na	-	1763	x			
4	409	Na	1754	1762	x			

## **Anexo 5**

Datos de terreno y de procesamiento de tarugos

Cuadro 8. Formulario con datos de terreno y de procesamiento de tarugos para la zona 1.

N° tarugo	Zona	Sitio	Especie	DAP (cm)	Cálculo anillos faltantes				Total	Crec. Inicial	Año estable.	Edad
					L	H	X	AEC				
11018	1	1	Nd	32					27	R	1978	E
11019	1	1	Nd	31					43	M	1962	A
11013	1	1	Na	29					44	M	1961	E
11014	1	1	Na	25					44	M	1961	E
11015	1	1	Nd	36					27	L	1978	E
11016	1	1	Na	40				41	43	R	1962	A
11017	1	1	Na	30	1,7	0,2	0,4	36	40	R	1965	A
11012	1	1	Na	24	1,8	0,2	0,3	36	44	R	1961	A
12028	1	2	Na	35	3,2	0,2	0,5	37	50	M	1955	M
12027	1	2	Na	27					44	R	1961	E
12026	1	2	Na	26				36	43	M	1962	A
12021	1	2	Na	49	2,8	0,15	0,8	38	44	MR	1961	A
12020	1	2	Na	57					54		1951	M
12022	1	2	Na	56	1	0,1	0,25	54	58	M	1947	A
12023	1	2	Na	42					51	M	1954	A
12024	1	2	Na	30	1,1	0,1	0,3	39	44	M	1961	A
12025	1	2	Na	26					44	M	1961	E
13002	1	3	Na	31	1,1	0,06	0,45	37	42	R	1963	A
13001	1	3	Na	27	0,9	0,07	0,35	38	42	R	1963	A
13004	1	3	Na	25	0,9	0,05	0,36	43	48	R	1957	A
13005	1	3	Na	35	1,6	0,15	0,3	43	50	M	1955	A
13010	1	3	Na	22	1,4	0,2	0,23	35	40	M	1965	A
13008	1	3	Na	26	2,2	0,4	0,6	38	41	R	1964	A
13003	1	3	Na	29	2	0,5	0,6	41	43	M	1962	A
13007	1	3	Na	33	1,25	0,15	0,38	44	47	M	1958	A
13006	1	3	Na	28	1,1	0,25	0,3	43	45	M	1960	A
13009	1	3	Na	25	0,8	0,5	0,25	37	39	M	1966	A

Cuadro 9. Formulario con datos de terreno y de procesamiento de tarugos para la zona 2.

N° tarugo	Zona	Sitio	Especie	DAP (cm)	Cálculo anillos faltantes				Total	Crec. Inicial
					L	H	X	AEC		
21004	2	1	Nd	42					29	M
21008	2	1	Nd	35					34	M
21006	2	1	Na	28	1,3	0,2	0,15	39	44	M
21009	2	1	Nd	35	2,7	0,15	0,8	23	31	M
21002	2	1	Nd	36					27	
21003	2	1	Na	31					26	
21010	2	1	Na	23					40	
21007	2	1	Na	21					35	M
21011	2	1	Na	21					43	M
22006	2	2	Na	25					44	M
22003	2	2	Na	36	2	0,36	0,7	30	33	MR
22007	2	2	Na	36	1	0,07	0,5	40	43	R
22009	2	2	Na	34	2,5	0,15	0,35	37	43	M
22002	2	2	Na	34					44	M
22005	2	2	Na	22				40	43	M
22004	2	2	N	37				35	37	M
22001	2	2	N	29	1	0,05	0,33	34	42	R
22008	2	2	Na	36	2,3	0,3	0,4	35	40	M
23010	2	3	Na	24					44	M
23006	2	3	Na	38	1,8	0,2	0,25	38	44	M
23005	2	3	Na	29					28	R
23009	2	3	Na	21					44	R
23007	2	3	Na	12					44	R
23004	2	3	Na	25				33	37	M
23003	2	3	Na	22				27	30	R
23001	2	3	Na	30	3,3	0,4	0,55	27	34	MR
23008	2	3	N	22					29	R

Cuadro 10. Formulario con datos de terreno y de procesamiento de tarugos para la zona 3.

Nº tarugo	Zona	sitio	Especie	DAP (cm)	Cálculo anillos faltantes				Total	Crec. Inicial	Año estable.	Edad
					L	H	X	AEC				
31003	3	1	Nd	30	3	0,5	0,55	26	30	MR	1975	A
31001	3	1	Na	26					44	R	1961	E
31007	3	1	Na	23					33	MR	1972	M
31010	3	1	Na	26					44	MR	1961	E
31004	3	1	Na	20	0,5	0,05	0,3	38	40	MR	1965	A
31009	3	1	Na	26					44	R	1961	E
31005	3	1	Na	30					44	M	1961	E
31011	3	1	Nd	55	2,3	0,3	0,55	46	50	M	1955	A
31008	3	1	Na	27	1,2	0,1	0,18	38	48	M	1957	A
31006	3	1	Na	23	0,9	0,1	0,23	38	42	M	1963	A
31002	3	1	Na	31					78		1927	M
32004	3	2	Na	25	2,1	0,2	0,3	38	47	M	1958	A
32005	3	2	Nd	18					32	M	1973	E
32010	3	2	Na	26	2	0,35	0,26	37	43	MR	1962	A
32007	3	2	Na	19	1,2	0,13	0,2	26	33	M	1972	A
32006	3	2	Na	19					44	M	1961	E
32002	3	2	Na	35					44	MR	1961	E
32009	3	2	Na	13	1	0,2	0,25	37	40	R	1965	A
32008	3	2	Na	14	2,1	0,3	0,35	35	41	MR	1964	A
32003	3	2	Na	29	1,8	0,15	0,15	59	76	M	1929	M
32001	3	2	Na	29	0,6	0,1	0,12	65	69	M	1936	A
32002	3	2	Na	21					44	R	1961	E
33005	3	3	Na	39	1,1	0,05	0,53	130	136	MR	1869	A
33006	3	3	Na	28	1,5	0,2	0,16	140	145	R	1860	A
33007	3	3	Na	30	1,6	0,15	0,14	130	140	M	1865	A
33004	3	3	Na	32	1	0,06	0,17	125	138	MR	1867	M
33003	3	3	Na	36					145	L	1860	E
33009	3	3	Na	24	1,3	0,1	0,16	135	145	M	1860	A
33010	3	3	Na	35					140	R	1865	E
33002	3	3	Na	33	2,3	0,25	0,2	117	130	MR	1875	M
33001	3	3	Na	31	1,8	0,2	1,8	113	115	R	1890	A
33008	3	3	Na	30	1,8	0,3	0,2	134	142	R	1863	A
34005	3	4	Na	29	0,45	0,08	0,15	143	145	R	1860	A
34010	3	4	Na	23					133	MR	1872	E
34002	3	4	Na	19	0,5	0,05	0,2	120	124	MR	1881	A
34009	3	4	Na	35	1,3	0,1	0,23	127	137	R	1868	A
34006	3	4	Na	36	1,9	0,45	0,3	137	141	R	1864	A
34004	3	4	Na	32					134	R	1871	A
34008	3	4	Na	32	0,7	0,17	0,3	142	144	MR	1861	A
34001	3	4	Na	24	1,5	0,35	0,25	142	145	R	1860	A
34003	3	4	Na	26	1,5	0,1	0,15	137	145	R	1860	A
34007	3	4	Na	32	0,85	0,1	0,2	142	145	R	1860	A



Cuadro 11. Formulario con datos de terreno y de procesamiento de tarugos para la zona 4.

N° tarugo	Zona	sitio	Especie	DAP (cm)	Cálculo anillos faltantes				Total	Crec. Inicial	Año estable.	Edad
					L	H	X	AEC				
41010	4	1	Na	37	0,9	0,4	0,12	182	192	M	1813	A
41007	4	1	Na	27					64	R	1941	E
41009	4	1	Na	42					117		1888	M
41003	4	1	Na	23	1,1	0,15	0,3	55	58	MR	1947	A
41001	4	1	Na	27					62	M	1943	E
41004	4	1	Na	15					61	R	1944	E
41002	4	1	Na	30	0,6	0,8	0,22	57	59	M	1946	A
41006	4	1	Na	18	0,2	0,03	0,05	63	66	L	1939	A
41008	4	1	Na	15					61	R	1944	E
41005	4	1	Na	40	2,1	0,1	0,35	48	62	MR	1943	M
42010	4	2	Na	37	1,2	0,05	0,18	87	107	R	1898	M
42005	4	2	Na	15	0,5	0,06	0,065	107	115	M	1890	A
42009	4	2	Na	31					100		1905	M
42003	4	2	Na	28	1,3	0,1	0,25	125	133	R	1872	A
42001	4	2	Na	29	1,1	0,08	0,07	124	149	ML	1856	M
42007	4	2	Nd	19	0,35	0,05	0,06	69	74	M	1931	A
42006	4	2	Na	21					106	M	1899	E
42002	4	2	Nd	20	1	0,8	0,85	100	102	R	1903	A
42004	4	2	Nd	19					118	M	1887	M
42008	4	2	Na	15	1,15	0,28	0,2	59	63	MR	1942	A
43008	4	3	Na	41	3,3	0,18	0,16	127	169	R	1836	M
43006	4	3	Na	44					165	M	1840	E
43003	4	3	Na	50	0,9	0,08	0,53	146	149	M	1856	A
43002	4	3	Na	45					162	M	1843	E
43010	4	3	Na	32	0,9	0,08	0,065	142	162	R	1843	M
43004	4	3	Na	42	0,2	0,01	0,018	182	191	L	1814	A
43001	4	3	Nd	60					86	L	1919	M
43005	4	3	Na	45	1,7	0,1	0,1	150	167	M	1838	M
43007	4	3	Na	27				144	158	M	1847	M
43009	4	3	Na	31					107	M	1898	M
44001	4	4	Na	35	0,55	0,035	0,04	195	225	ML	1780	M
44002	4	4	Na	48	0,4	0,05	0,08	198	202	L	1803	A
44003	4	4	Na	38	0,7	0,08	0,03	179	201	L	1804	M
44004	4	4	Na	31	0,5	0,04	0,04	215	236	L	1769	M
44005	4	4	Na	45					243	M	1762	E
44006	4	4	Na	51	0,7	0,08	0,08	208	223	M	1782	M
44007	4	4	Na	48	0,35	0,025	0,03	217	238	ML	1767	M
44008	4	4	Na	46	0,5	0,04	0,05	186	202	M	1803	M
44009	4	4	Na	53	1,3	0,06	0,1	120	160	L	1845	M
44010	4	4	Na	38	1	0,09	0,2	163	168	R	1837	A
44011	4	4	Na	26	1,4	0,1	0,15	157	170	R	1835	M

Cuadro 12. Información de sitios de muestreo de tarugos.

zona	sitio	Elevación	Exposición	Pendiente (%)	Coordenadas UTM	
1	1	920	S	25	249730	5766870
1	2	940	SE	28	250004	5766916
1	3	955	SO	30	250418	5766902
2	1	982	S	27	250900	5766830
2	2	1010	SW	30	251125	5766864
2	3	970	SE	37	251670	5766929
3	1	1005	S	35	252885	5767370
3	2	960	S	32	253311	5767218
3	3	1150	S	50	253569	5767630
3	4	1120	SO	38	253857	5767555
4	1	965	S	30	254702	5767171
4	2	930	SE	23	255130	5767234
4	3	970	S	26	255444	5767146
4	4	960	S	28	256106	5766536

## **Anexo 6**

Fotografías de muestras de raulí

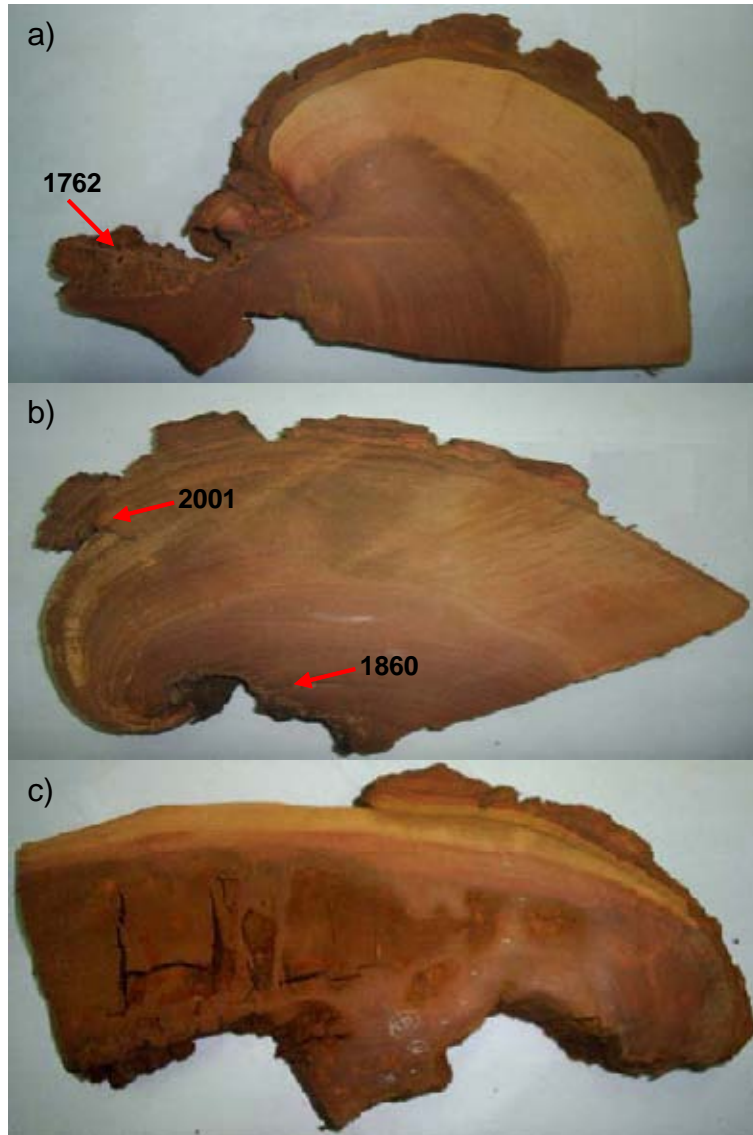


Figura 1. a) Muestra de cicatriz (N° 402) de *N. nervosa* de buena calidad y escasa pudrición fechando el incendio más antiguo en el área de estudio (1762), b) muestra de raulí (N° 31) fechando dos incendios: uno de relativa antigüedad (1860) y uno muy reciente (2001) y c) muestra de raulí con avanzada pudrición y desechada del estudio.