



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

**Efecto de disturbios catastróficos sobre el
establecimiento y crecimiento radial de *Nothofagus
pumilio* (Poepp. *Et* Endl.) Krasser, Parque Nacional
Puyehue**

Patrocinante: Sr. Mauro E. González C.

Trabajo de titulación presentado como
parte de los requisitos para optar al título
de **Ingeniero en Conservación de
Recursos Naturales**

MAURICIO ORLANDO MONTIEL BARRIENTOS

VALDIVIA

2013

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		nota
Patrocinante	Sr. Mauro González.	—
Informante 1	Sr. Duncan Christie	—
Informante 2	Sr. Ariel Muñoz	—

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 E. González C.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia, especialmente a mi madre y a mis abuelos que de cierta manera han guiado con su preocupación y cariño cada aspecto importante de mi vida.

A mi profesor patrocinante, Dr. Mauro E. González, por enseñarme a comprender el fascinante mundo de la ecología y dinámica de nuestros bosques y depositar su confianza y aportar con sus conocimientos en la realización de este trabajo. Así mismo quiero agradecer a mis profesores informantes, Dr. Duncan Christie y Dr. Ariel Muñoz, por el interés que expresaron desde el primer momento para participar y colaborar en este proyecto.

Agradezco a CONAF y al Departamento de Áreas Silvestres Protegidas de la región de Los Lagos por otorgar los permisos de investigación en el Parque Nacional Puyehue. Del mismo modo agradezco al Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)² (CONICYT/FONDAP/15110009) por el financiamiento otorgado.

Al Laboratorio de Ecología de Bosques y Laboratorio de Dendrocronología y Cambio Global por facilitarme sus instalaciones para el procesamiento y medición de muestras. También a todo el equipo del Laboratorio de Ecología de Bosques, en especial a mis compañeras de terreno Pilar Fierro y Romina Novoa.

De igual manera, agradezco a cada uno de mis compañeros y amigos que tuve la fortuna de conocer a lo largo de mi carrera, en especial a Diether Rehbein, Fuad Sabra y Camila Sanhueza por esas largas y productivas jornadas de estudio.

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	Objetivo general	2
2.2	Objetivos específicos	2
3	MARCO TEÓRICO	3
3.1	Dinámica de disturbios en bosques de <i>Nothofagus pumilio</i>	3
3.1.1	<i>Dinámica en bosques de N. pumilio afectados por incendios</i>	4
3.1.2	<i>Efecto de la caída de tefra sobre el crecimiento de los árboles</i>	6
4	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	7
4.1	Área de estudio	7
4.2	El complejo volcánico Puyehue- Cordón Caulle	8
4.3	Diseño de parcelas y toma de muestras	8
4.3.1	<i>Incendios</i>	8
4.3.2	<i>Vulcanismo</i>	10
4.4	Preparación de muestras y análisis de datos	10
5	RESULTADOS	11
5.1	Rodales post fuego	11
5.1.1	<i>Establecimiento y estructura diamétrica</i>	11
5.2	Efecto de la caída de tefra sobre el crecimiento radial	13
5.2.1	<i>Erupción de 1921-22</i>	13
5.2.2	<i>Erupción de 1960</i>	14
5.2.3	<i>Erupción de 2011</i>	15
6	DISCUSIÓN	16

6.1	Desarrollo de rodal post incendio	16
6.2	Efecto de la caída de tefra sobre el crecimiento radial	16
7	CONCLUSIONES	19
8	BIBLIOGRAFÍA	20
	<i>ANEXO: Abstract and Keywords</i>	

Índice de tablas

Página

Tabla 1	Resumen características de los puntos de muestreo	9
Tabla 2	Profundidad aproximada de la tefra durante las erupciones de 1960 y 2011	17

Índice de figuras

Página

Figura 1	Área de estudio y extensión aproximada de la tefra durante erupciones históricas del CVPPC.	7
Figura 2	Tipos de bosque sobre los 1000 m s.n.m en el PNP y diseño de parcelas.	9
Figura 3	Estructura diamétrica y establecimiento de <i>N. pumilio</i> en PNW 795.	11
Figura 4	Estructura diamétrica y establecimiento de <i>N. pumilio</i> en PNW 804.	12
Figura 5	Ancho de anillos de <i>N. pumilio</i> durante el periodo pre- y post erupción del CVPCC en 1921-22.	13
Figura 6	Ancho de anillos de <i>N. pumilio</i> durante el periodo pre- y post erupción del CVPCC en 1960.	14
Figura 7	Ancho de anillos de <i>N. pumilio</i> durante el periodo pre- y post erupción del CVPCC en 2011.	15

RESUMEN EJECUTIVO

Numerosas erupciones volcánicas han modelado el paisaje de Los Andes del centro-sur de Chile. Tradicionalmente estos grandes disturbios se han definido en términos de eventos catastróficos y han sido reconocidos como un importante factor que determina la estructura, composición y procesos en la dinámica de estos bosques. En un rodal ubicado en el Parque Nacional Puyehue se estudian los efectos de la ocurrencia de incendios sobre el establecimiento y desarrollo de bosques secundarios de *Nothofagus pumilio* y la caída de tefra sobre los patrones de crecimiento radial de esta especie asociado a tres eventos volcánicos (1921-22, 1960 y 2011) producto de la erupción del Complejo Volcánico Puyehue- Cordón Caulle. Los resultados indican un pulso de establecimiento a partir de 1880, estableciéndose al menos dos cohortes en cada rodal estudiado. Se reportan además una supresión del crecimiento para la erupción de 1921-22, un leve liberación para la erupción de 1960 y una reducción diferenciada en el crecimiento entre árboles jóvenes (~ 80%) y adultos (~ 15 %) respecto al crecimiento durante los años previos a la erupción del 2011. La presencia de legados biológicos post incendio es crítico para la posterior colonización de *N. pumilio*. En tanto, la profundidad de la capa de tefra resulta ser un factor clave para explicar la respuesta en el crecimiento en esta especie luego de este tipo de disturbio.

Palabras clave: Disturbios, incendios, vulcanismo, crecimiento radial.

1 INTRODUCCIÓN

En bosques, los grandes disturbios han sido definidos como aquellos capaces de derribar o matar todos los árboles vivos en un área lo suficientemente grande como para asegurar que los árboles que crecen luego del disturbio no encuentren competencia de aquellos árboles que no han sido dañados (Oliver, 1981). Tradicionalmente estos grandes disturbios se han definido en términos de eventos catastróficos, originados en el medio ambiente físico, derivados de factores alogénicos (Veblen & Donoso, 1987). Entre estos, los eventos asociados a la dispersión de tefra por actividad volcánica y disturbios originados por incendios son quizás los que abarcan una mayor extensión, involucrando desde unas pocas a miles de hectáreas (*p.e.* Swanson & Major, 2005; González *et al.*, 2005), pudiendo afectar fuertemente los patrones de la vegetación y paisaje, efecto que se acentúa cuando actúan de forma simultánea (Turner *et al.*, 1997a).

Algunos registros dendrocronológicos ofrecen diferentes tipos de pruebas de la incidencia de la actividad volcánica en los ecosistemas forestales. Los árboles que crecen lo suficientemente cerca del volcán como para ser cubiertos con tefra mueren o sobreviven dependiendo del espesor de la capa de tefra (Yamaguchi, 1985). Los árboles sobrevivientes pueden experimentar una supresión brusca de crecimiento radial (Druce, 1966; Hinckley *et al.*, 1984; Segura *et al.*, 1995a), muchos de los cuales pueden incluir anillos localmente ausentes (Yamaguchi, 1983). En consecuencia, luego de esta respuesta inicial, se pueden generar períodos prolongados de reducción de incremento radial (Segura *et al.*, 1995b).

Por otra parte, el fuego ha jugado un papel importante generando cambios en la estructura y la composición de la vegetación en muchos ecosistemas (White, 1979). La variable severidad, tanto temporal como espacial, tiene contrastantes efectos ecológicos (Turner *et al.*, 1997b). Por ejemplo, incendios de alta severidad, que eliminan la mayor parte de los árboles del dosel, pueden provocar el establecimiento de una nueva cohorte pos incendio de la misma o de diferente especie (Oliver 1981). Por otra parte, estudios realizados en bosques andinos de Sudamérica señalan que los diversos regímenes de incendios son muy importantes en la configuración del paisaje y un fenómeno relativamente frecuente (González *et al.*, 2005; 2010a; 2010b), cuya respuesta inicial corresponde a una masiva y rápida colonización del espacio del género *Nothofagus* (Donoso, 1993).

Nothofagus pumilio es una especie decidua que posee una amplia distribución geográfica, la que se extiende desde los 35°35' S en el sector chileno occidental de la Cordillera de los Andes y desde los 36°50' S en el sector argentino oriental de la misma cordillera, hasta el extremo austral insular de Sudamérica a los 56° S (Donoso, 1993). Estos bosques a lo largo de su extensa distribución se encuentran bajo la influencia directa de numerosos volcanes y lo suficientemente cerca como para que se vean afectados ocasionalmente. Del mismo modo, los rodales se ven afectados por incendios frecuentes especialmente en la parte norte de su distribución (Veblen *et al.*, 2003).

En el Hemisferio Norte existe abundante información sobre la respuesta de diversas comunidades vegetales tanto a eventos originados por incendios (*p.e.* Baisan & Swetnam, 1990; Agee, 1998) como a disturbios por actividad volcánica (*p.e.* Eggler, 1967; del Moral, 1983; Biondi *et al.*, 2006). A pesar de los recientes avances en el estudio de la dinámica del fuego en bosques andinos y de la presencia de numerosos volcanes en el centro sur de Chile, existe aún escasa comprensión en relación a los efectos que estos tipos de disturbios tienen sobre las respuestas de la vegetación, especialmente en la comunidad arbórea. La justificación para realizar este trabajo de tesis apunta a incrementar el conocimiento sobre los efectos de la actividad volcánica e incendios sobre los bosques Andinos del centro sur de Chile.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general:

Reconstruir la dinámica de disturbios asociado a eventos volcánicos e incendios y su efecto en la respuesta sobre el establecimiento y crecimiento radial en rodales de *Nothofagus pumilio* en el Parque Nacional Puyehue.

2.2 Objetivos específicos:

- Determinar la influencia del fuego en la demografía de los bosques de *Nothofagus pumilio*.
- Determinar el efecto de la depositación de tefra y ceniza volcánica sobre el crecimiento radial de rodales de *Nothofagus pumilio*.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Dinámica de disturbios en bosques de *Nothofagus pumilio*

En general, los bosques de *Nothofagus* ubicados en la Cordillera de Los Andes son afectados periódicamente por eventos catastróficos, así como también disturbios de menor escala (Veblen *et al.*, 1995). Gran parte de los claros formados en bosques de *Nothofagus pumilio*, creados principalmente luego de la caída de árboles senescentes y acompañada del desmoronamiento de los árboles vecinos, ofrecen la oportunidad para la regeneración en bosques ubicados a mayores elevaciones, tanto para rodales puros o mixtos con *Nothofagus dombeyi* o *Nothofagus betuloides* (González *et al.*, 2010). Esta dinámica regenerativa ha sido descrita por algunos autores como dinámica de claros o dinámica de parches (Veblen, 1985; Veblen, 1992; Fajardo & de Graaf, 2004)

La ocurrencia de disturbios de gran escala en bosques de *N. pumilio*, como por ejemplo, avalanchas de nieve, tormentas de viento, deslizamientos de tierra (asociados a actividad tectónica), vulcanismo (depositación de ceniza, tefra, flujos de lava y barro) e incendios pueden originar grandes parches coetáneos (Veblen, 1979; Veblen *et al.*, 1981; Veblen *et al.*, 1996; Rebertus *et al.*, 1997; González *et al.*, 2010). Dado que los bosques de *N. pumilio* representan el límite arbóreo en la zona centro sur de Chile y Argentina hasta Tierra del Fuego (en general sobre los 1000 m s.n.m.), las avalanchas de nieve son un disturbio recurrente en donde se puede observar una masiva y densa regeneración (Veblen, 1979; González *et al.*, 2010). Del mismo modo, las tormentas de viento son disturbios de gran importancia para el desarrollo de la regeneración y patrones de paisaje, en especial en las zonas más australes de la distribución de la especie, en donde la susceptibilidad de los árboles al volteo se produciría cuando alcanzan edades de 100-125 años y en aquellos rodales ubicados en la parte alta de las pendientes a sotavento, en los valles y pendientes paralelas a la dirección de los vientos. (Rebertus *et al.*, 1997). Sin embargo, el efecto desecante de los fuertes vientos junto con el ramoneo de guanaco (*Lama guanaco*), huemul (*Hippocamelus bisulcus*), así como también de especies exóticas y animales domésticos, pueden inhibir drásticamente la regeneración de lenga (Roig *et al.*, 1985; Rebertus *et al.*, 1997).

Considerando que los eventos sísmicos de gran magnitud que han afectado el centro sur de Chile y el norte de la Patagonia ocurren al menos una vez por siglo y el promedio máximo de longevidad de los árboles de los bosques templados se estima entre 300 y 500 años, el tiempo de recurrencia es lo

suficientemente corto como para que los terremotos sean considerados una importante influencia ecológica sobre la dinámica de esta región (Kitzberger *et al.*, 1995). Además de desencadenar movimientos de masas tales como derrumbes, caída de rocas, coluvios y torrentes de barro (Veblen & Ashton, 1978), los terremotos también han sido capaces de gatillar grandes erupciones volcánicas como aquella originada tras el terremoto de 1960 en el centro sur de Chile (Lara *et al.*, 2004). La dinámica sucesional en depósitos de escoria derivados de los efectos del vulcanismo se inicia con la colonización de herbáceas, hongos y líquenes (Donoso, 1993). Una vez estabilizado el sustrato y en sitios menos expuestos a fuertes vientos, particularmente a más baja altitud, *Nothofagus spp.* son una de las primeras especies vasculares en colonizar depósitos de ceniza volcánica y lava (Veblen & Ashton, 1979). En el valle de Antillanca, Veblen y Ashton (1979) reportan que en el matorral por encima del *krummholz*, se encuentran individuos aislados y postrados de *N. pumilio* y *N. antártica* y en las áreas más meridionales *N. betuloides*, indicando que las especies se están moviendo hacia arriba. Esto como consecuencia de erupciones volcánicas pasadas y cuyos resultados de sucesión estarían localmente influenciadas por movimientos de masas de depósitos de ceniza sueltas, avalanchas de nieve y exposición a fuertes vientos (Veblen *et al.*, 1977). Por otro lado, luego del depósito de cenizas tras la erupción del volcán Hudson en el sur de Chile, en rodales puros de *N. pumilio* y mixtos con *N. dombeyi*, Vogel *et al.* (1994) reportan daños mecánicos en ramas y muerte total de brinzales de *N. dombeyi* y el masivo establecimiento de plántulas de *N. pumilio*, concluyendo además que la capacidad de respuesta de la vegetación dependen tanto de las estrategias de reproducción vegetativa como de la topografía y legados biológicos, formas de vida y cantidad de tefra depositada.

3.1.1. Dinámica en bosques de *N. pumilio* afectados por incendios

La historia y dinámica del fuego en bosques de lenga (puros y mixtos), ha sido descrita para ambas vertientes de la Cordillera de los Andes principalmente entre los 39° y los 43° S (González *et al.*, 2005; Veblen *et al.*, 2003). En el norte de la Patagonia argentina, *N. pumilio* ocurre a elevaciones de 1100 a 1200 m s.n.m. en ambientes fríos, razón por la cual, y a pesar de cubrir una gran extensión en el paisaje, su contribución en cuanto a área quemada es muy baja en comparación con otros tipos forestales de menor extensión que ocurren en a esas mismas latitudes y a más bajas elevaciones (Veblen *et al.*, 2003). Por ejemplo, Veblen *et al.* (1992) reportan que los bosques de *N. antártica* registran una mayor cantidad de incendios ya que son más propensos a incendios de copa debido al abundante sotobosque de arbustos que desarrolla y la mayor cantidad de biomasa combustible en comparación con los bosques subalpinos de *N. pumilio* adyacentes.

Si las condiciones post fuego son favorables y hay una fuente de semillas disponible, *N. pumilio* puede regenerar abundantemente y originar grandes parches coetáneos. Sin embargo, muchas veces la regeneración post fuego se obstaculiza debido a un incremento de la radiación y al ramoneo de herbívoros aun cuando la disponibilidad de semillas no es limitante (Kitzberger *et al.*, 2005). Por otra parte, la reducción de materia orgánica, que reduce la disponibilidad de nitrógeno y humedad en el corto y largo plazo, puede constituir un factor limitante para el establecimiento de lenga en áreas quemadas (Alauzis *et al.*, 2004).

En la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes, en bosques mixtos de Araucaria- Lenga (39° S), González *et al.* (2010) encontraron que incendios de alta severidad dan paso al establecimiento de una o dos cohortes de *N. pumilio*. Sin embargo, frente a las características autoecológicas, adaptaciones y estrategias de otras especies como *Nothofagus nervosa* y *Araucana araucana*, que poseen una corteza gruesa y resistente y la habilidad de rebrotar vegetativamente, *N. pumilio* ve limitada su regeneración durante los primeros años luego de la ocurrencia de incendios de alta severidad cuando no hay individuos remanentes que hayan sobrevivido al evento (González *et al.*, 2002).

Veblen *et al.*, (1996b) observaron que la regeneración de lenga en el sur de la Patagonia luego de un incendio esta típicamente limitada a un estrecha banda de 5-20 m en el margen del bosque donde las condiciones son favorables, con adecuada fuentes de semilla y protección. En contraste, pocos brinzales son evidentes en sitios incendiados cuya ocurrencia sobrepasa los 40 años de antigüedad (Veblen *et al.*, 1996b), a menudo con matorrales reemplazando a lenga como la vegetación dominante en áreas quemadas, donde existen muy pocos árboles semilleros de lenga y subsecuente poca regeneración.

3.1.2 Efecto de la caída de tefra sobre el crecimiento de los árboles

Pese a la estrecha proximidad de los volcanes con los ecosistemas boscosos, en Chile son muy escasos los estudios que den cuenta de la incidencia que estos eventos de disturbios tienen sobre la dinámica y sucesión natural en las comunidades de plantas (*p.e.* Veblen *et al.*, 1977; Vogel *et al.*, 1994), y específicamente aquellos relacionados con las respuestas en el crecimiento de los árboles. Por ejemplo, Tognetti *et al.* (2012) observaron una disminución de ancho de anillos en *A. araucana* después de la gran erupción del volcán Lonquimay en 1988, muy probablemente causado por las condiciones

ecológicas modificadas debido a la lluvia ácida y la deposición de cenizas. Por otra parte, Pollmann (2003) señala una abrupta liberación en el crecimiento de *N. alpina* que se inicia 10 años después de la erupción del Volcán Llaima en 1640, la que se prolonga por al menos 75 años.

Algunos estudios dirigidos sobre especies de coníferas en el Hemisferio Norte señalan una reducción en el crecimiento de los árboles debido principalmente a la mayor permanencia de la ceniza y tefra sobre las ramas debido a la disposición y geometría de las acículas y a la exudación de resina (Segura *et al.*, 1994), así como al daño mecánico e incremento de la temperatura foliar a niveles letales (Seymour *et al.*, 1983). Como consecuencia los árboles experimentan una baja en la tasa de fotosintética la que influye en su crecimiento.

En bosques dominados por coníferas Hinckley *et al.* (1984), encontraron una reducción en el crecimiento en diámetro proporcional a la cantidad de tefra depositada cercana al 50% en adultos y brinzales de *Abies amabilis* durante el primer año de la erupción del Monte Santa Helena en mayo de 1980. Por otra parte, Segura *et al.* (1995b), señalan una supresión en el crecimiento sobre el 50% sostenido por al menos 8 años luego de la erupción en bosques adultos de la misma especie.

En Nevado de Colima, Mexico, Biondi *et al.* (2003) reportan una reducción mayor al 30% en el 73 % de los arboles muestreados de *Pinus hartwegii* a raíz de la erupción del Volcán de Fuego en enero de 1913. El espesor de la capa de tefra varía entre los 15-30 cm de profundidad, sin embargo, no encontraron correspondencia espacial entre el crecimiento de los árboles y la distancia del cono volcánico.

4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde al Parque Nacional Puyehue, el cual fue afectado por la erupción del Cordón Caulle en junio del 2011, en donde la tefra y ceniza alcanzaron una gran extensión (figura 1). La mayor parte del Parque está ubicada sobre los 1000 m s.n.m., en la Cordillera de Los Andes de la Provincia de Osorno, X Región, de Los Lagos, Chile ($40^{\circ} 47'S$, $72^{\circ} 12'O$).

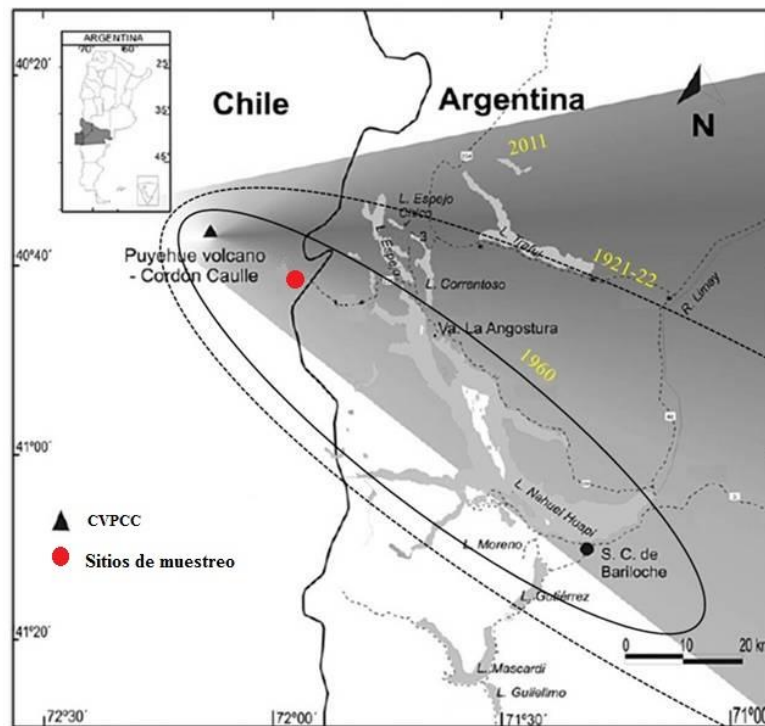


Figura 1. Área de estudio y extensión aproximada de la tefra durante erupciones históricas del CVPPC. Modificado de Bubach *et al.*, 2012 (erupción 1960: Katsui & Katz 1967; Lara *et al.*, 2004, 2006b; erupción 1921-22: Katsui & Katz 1967; Lara *et al.*, 2004, 2006b; Sepúlveda *et al.*, 2004).

El área de estudio posee un clima templado lluvioso de montaña con una precipitación promedio anual superior a 5000 mm y se encuentra cubierto con nieve aproximadamente desde junio hasta noviembre. Godoy *et al.* (1999) registraron una temperatura promedio anual es de $2,4^{\circ}$ e, con una temperatura máxima de $15,7^{\circ}C$ en febrero y una temperatura mínima de $-1,8^{\circ}C$ en septiembre. Durante otoño e invierno predominan los vientos del norte, noroeste y oeste debido a la influencia de los frentes polares,

y durante el verano predominan los vientos procedentes del oeste y suroeste, ocasionalmente con la presencia de vientos cálidos y secos procedentes del este (Godoy *et al.*, 1999).

El bosque de *N. pumilio* ocurre desde a partir de los 1000 m s.n.m asociado principalmente con *N. dombeyi* (Mirb.) Bl., cambiando paulatinamente a rodales puros a medida que aumenta la altitud constituyendo el límite altitudinal arbóreo. El sotobosque está constituido principalmente por *Drymis andina* (Reiche) Rodr. *et* Quez, *Maytenus disticha* (Hook. F.) Urban., *Berberís buxifolia* Lam., *Berberis serratodentata* Lechler, *Ribes magellanicum* Poir. y *Azara lanceolata* Hook.F.

4.2 El Complejo volcánico Puyehue- Cordón Caulle (CVPCC)

El CVPCC es un conjunto de centros eruptivos que se extiende de NO a SE entre la caldera Cordillera Nevada (1.799 m snm), un colapsado estratovolcán pleistocénico, y el volcán Puyehue (2236 m snm), un estratovolcán de 2,5 km de diámetro, con un sistema de fisuras del Pleistoceno- Holoceno, con el Cordón Caulle (1793 m snm), entre ellos (Lara *et al.*, 2004; Lara *et al.*, 2006a; Lara *et al.*, 2006b). Registra erupciones recientes que se pueden relacionar con crónicas históricas como la posible erupción de 1759. Más tarde, en el año 1893 también habría ocurrido una erupción. Durante el siglo XX habrían ocurrido varias erupciones, muchas de muy baja explosividad, resaltando las erupciones de diciembre de 1921, la que se prolongó hasta febrero de 1922, y mayo de 1960 gatillada por el terremoto de Valdivia de 8,5° de magnitud en la escala de Richter (Lara *et al.*, 2006). El último ciclo eruptivo del CVPCC se registró en junio del 2011.

4.3 Diseño de parcelas y toma de muestras

4.3.1 Incendios

Durante el mes de enero del 2013 se establecieron 2 puntos de muestreo dentro del área de estudio afectados con tefra (50 cm de profundidad aprox.). En cada uno de los sitios seleccionados se estableció una parcela circular de 1000 m² para registrar todos los árboles remanentes (> 45 cm DAP) y una parcela circular anidada dentro de ella de 500 m² (PNW 795 y PNW 804), en donde se muestrearon 2 de sus cuadrantes para registrar los individuos jóvenes (< 45 cm DAP; 250 m²) (Figura 2). Este procedimiento se aplicó con el fin de acomodar un número suficiente de árboles remanentes dentro de

estas masas de bosques coetáneos de manera de conseguir una interpretación fiable de la estructura de la población de árboles de cada sitio. Otras características se entregan en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen características de los puntos de muestreo

Parcela	Tamaño parcela ^α (m ²)	Elevación (m)	Exposición	Pendiente(°)	Área basal ^β (m ² ha ⁻¹)		
					vivo	muerto	Total
PNW 795	1000 (250)	1296	N	16	58 (94.7)	3.2 (5.3)	61,2
PNW 804	1000 (250)	1306	N	8	77.6 (95.7)	3.5 (4.3)	81,1

α entre paréntesis el tamaño de parcelas anidadas, β entre paréntesis Área basal en %

Del mismo modo, para determinar el establecimiento de los individuos, se tomaron muestras dendrocronológicas a una altura promedio de 16 cm en dos cuadrantes (NW y NE) debido a la alta densidad de árboles en estos rodales coetáneos (figura 2). Todos los árboles se encontraban vivos al momento del muestreo. Además a cada individuo se le registró su posición en el dosel (emergente, dominante, codominante, intermedio o suprimido) según el caso.

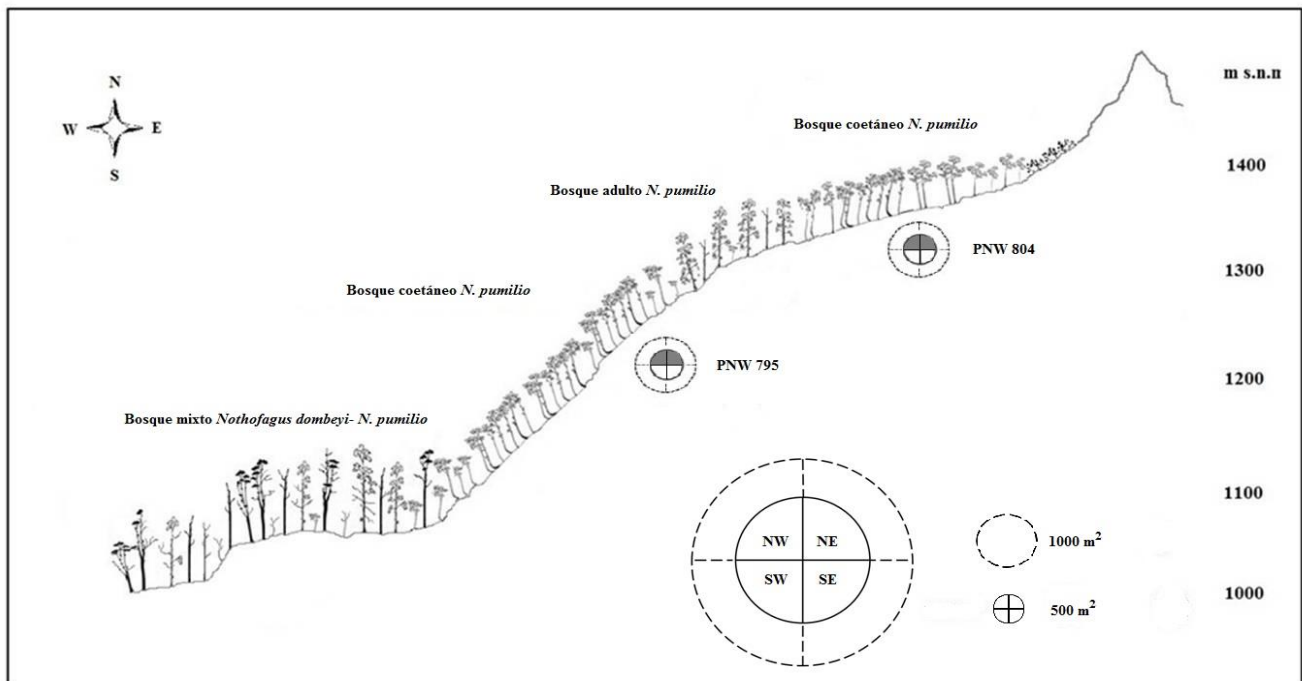


Figura 2. Tipos de bosque sobre los 1000 m s.n.m en el PNP y diseño de parcelas (color gris corresponde a los cuadrantes elegidos para los muestreos dendrocronológicos y de distribución diamétrica).

4.3.2 Vulcanismo

Para obtener información del efecto que tiene la depositación de tefra, asociada a las erupciones del CVPCC, sobre el crecimiento de los árboles, se utilizaron aquellas muestras provenientes de las parcelas antes mencionadas. Sin embargo, en las parcelas se encontraban muy pocos árboles remanentes, por lo que también se colectaron tarugos de incremento desde los árboles remanentes que se encontraban fuera de las parcelas ya que nos podrían proporcionar información adicional de las erupciones más antiguas en el área de estudio. También nos permite realizar un análisis comparativo de una posible respuesta diferencial en el crecimiento entre individuos jóvenes y árboles remanentes tras la última erupción del año 2011.

4.4 Preparación de muestras y análisis de datos

Para caracterizar la estructura de los sitios se construyeron histogramas de distribución diamétrica con marcas de clase cada 10 cm y se graficó el año aproximado de establecimiento para *N. pumilio*. Las muestras (tarugos) colectadas fueron secadas a temperatura ambiente y posteriormente montadas en molduras de madera acanalados. Una vez terminada esta fase las muestras fueron preparadas con una lijadora eléctrica utilizando diferente granulometría de papel (ascendente de menor a mayor). El fechado de los anillos de crecimiento se realizó bajo lupa estereoscópica y luego los anillos fueron medidos milimétricamente en un carro de medición incremental conectado a un computador. Este procedimiento de fechado sigue la convención de Schulman (1956) para el hemisferio Sur, la cual asigna a cada anillo anual el año calendario en el cual se inició el crecimiento. Las muestras analizadas que no contenían la médula se estimaron con el método geométrico de Duncan (1989). Las muestras que no alcanzaron la médula y el número de anillos faltantes estimado sea menor a 15, se clasificaron como edades estimadas mientras que los tarugos que tenían un número de anillos estimado mayor a 15 y aquellos tarugos que no presentaron anillos visibles fueron tratados como edades mínimas.

Para identificar las porciones de series de anillos que pueden tener errores de fechado y/o medición, se analizaron los datos con el programa COFECHA (Holmes, 1983).

5 RESULTADOS

5.1 Rodales post fuego

5.1.1 Establecimiento y estructura diamétrica

La parcela PNW 795 presentó una estructura coetánea caracterizada por un marcado pulso de establecimiento en respuesta al fuego. El rango de la distribución diamétrica varió desde los 10 a los 60 cm, concentrándose la mayor parte los individuos de *N. pumilio* entre la clase diamétrica de 20 cm (Figura 3a)

Este rodal presentó al menos dos pulsos de establecimiento asociado a eventos de incendios, uno a partir de la década de 1880 y otro a partir de 1920. Por otro lado, se observaron árboles remanentes de *N. pumilio* de edad superior a los 170 años y de hasta al menos 280 años (Figura 3b).

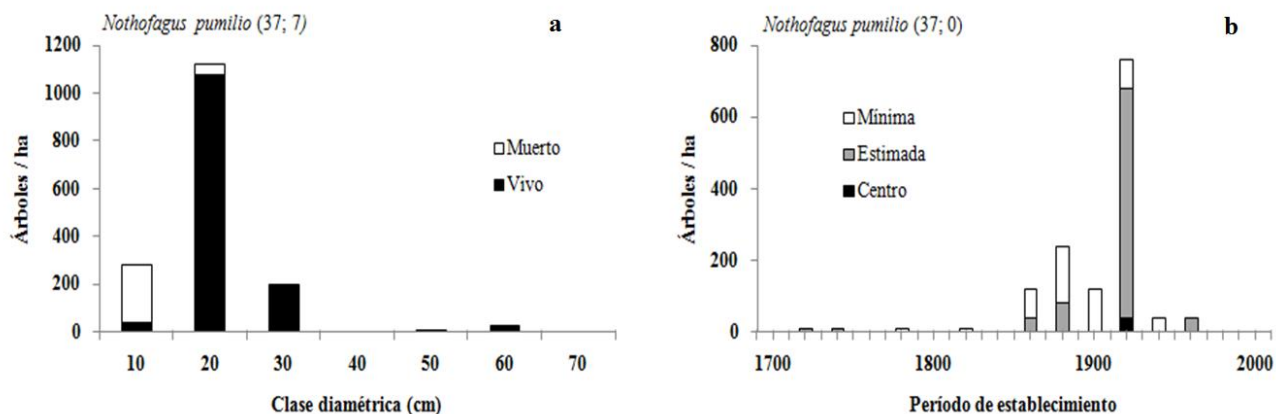


Figura 3. a) Estructura diamétrica y b) establecimiento de *N. pumilio* en PNW 795. En **a**, los valores entre paréntesis indican el número de individuos vivos y muertos. En **b**, los valores entre paréntesis indican el número de árboles tarugados y el número de árboles excluidos.

La parcela PNW 804 presentó una estructura coetánea irregular cuyo rango de distribución diamétrica varió entre los 10 y los 70 cm, concentrándose la gran parte de los individuos de *N. pumilio* entre las clases 20 y 40 cm (figura 4a).

Por otro lado este rodal presenta al menos 2 pulsos de establecimiento, uno a partir de la década de 1880 y otro a partir de la década de 1920. También presenta árboles remanentes de más de 180 años (figura 4b).

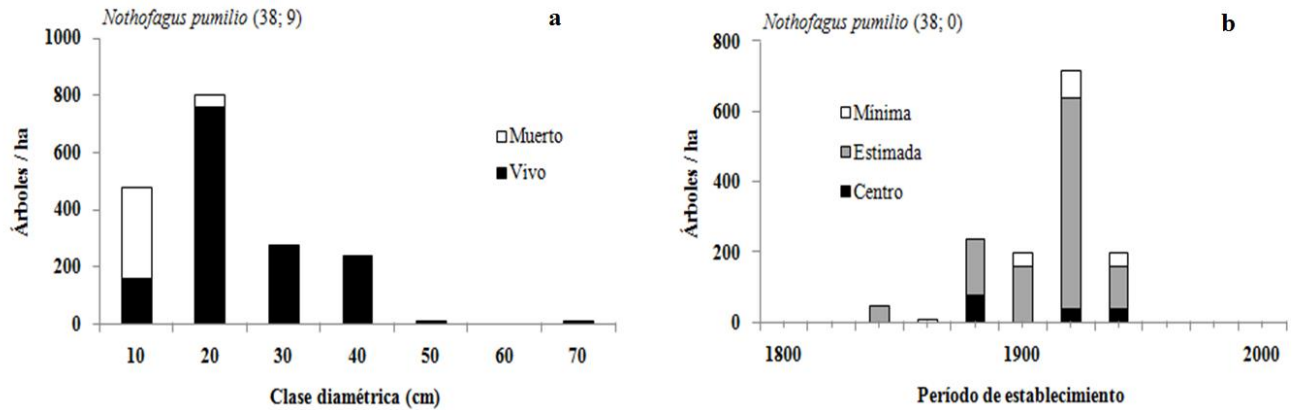


Figura 4. a) Estructura diamétrica y b) establecimiento de *N. pumilio* en PNW 804. En **a**, los valores entre paréntesis indican el número de individuos vivos y muertos. En **b**, los valores entre paréntesis indican el número de árboles tarugados y el número de árboles excluidos.

5.2 Efecto de la caída de tefra sobre el crecimiento radial

5.2.1 Erupción de 1921-22

Luego de la erupción del CVPCC, que se prolongó desde el mes de diciembre de 1921 hasta febrero de 1922, los individuos de *N. pumilio* presentaron un crecimiento comparativamente menor con respecto a los años pre-erupción, cuyo rango abarcó desde un 44 a 80% de disminución en el crecimiento. Esta supresión se prolongó por al menos 5 años luego de la erupción

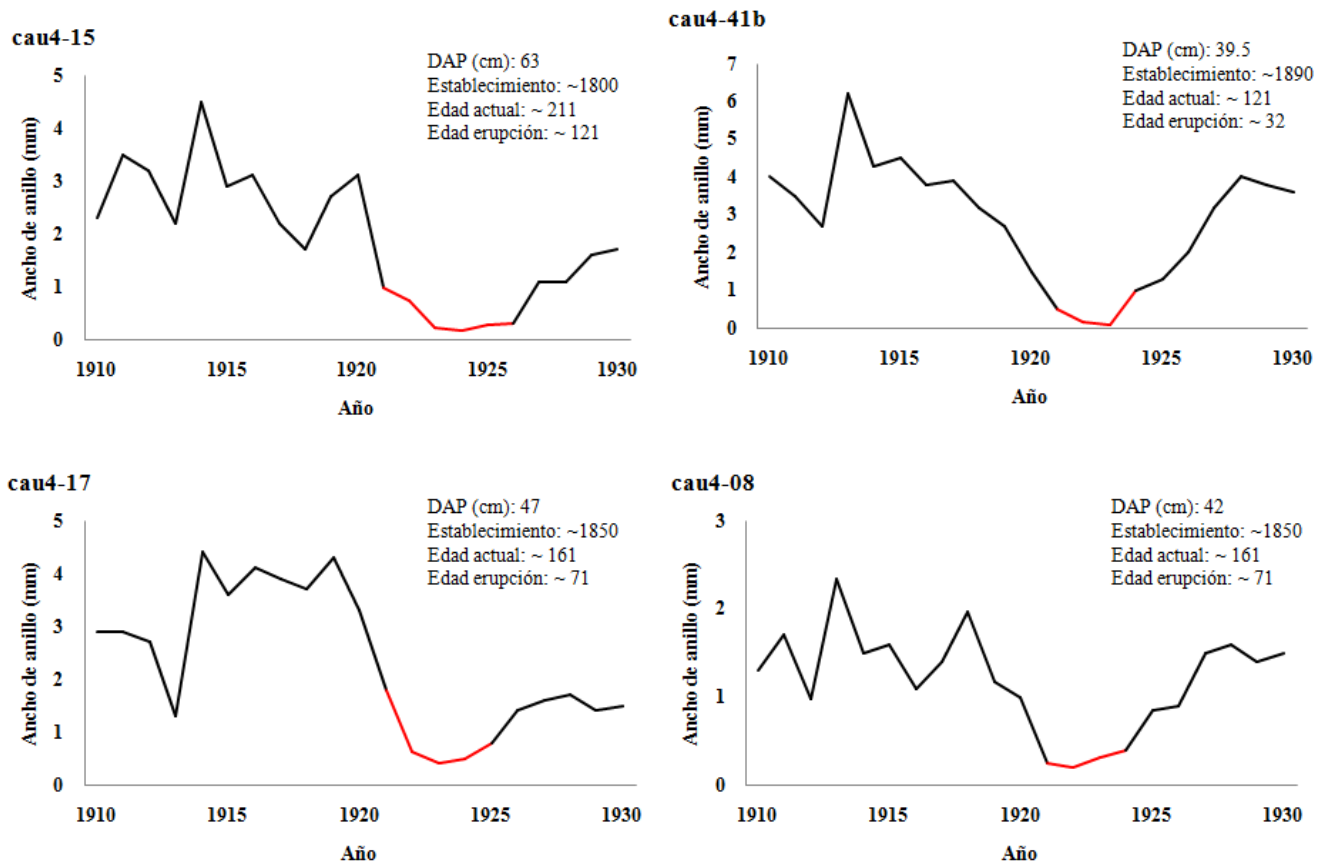


Figura 5. Ancho de anillos de *N. pumilio* durante el periodo pre- y post erupción del CVPCC en 1921-22. La línea roja indica los años de mayor supresión luego de la erupción.

5.2.2 Erupción de 1960

Luego de la erupción del CVPCC en mayo de 1960, los árboles de *N. pumilio* no mostraron una disminución en el ancho de los anillos, presentando incluso un mayor incremento radial post-erupción con respecto a los años pre-erupción (15 %), manteniéndose relativamente constante (figura 6)

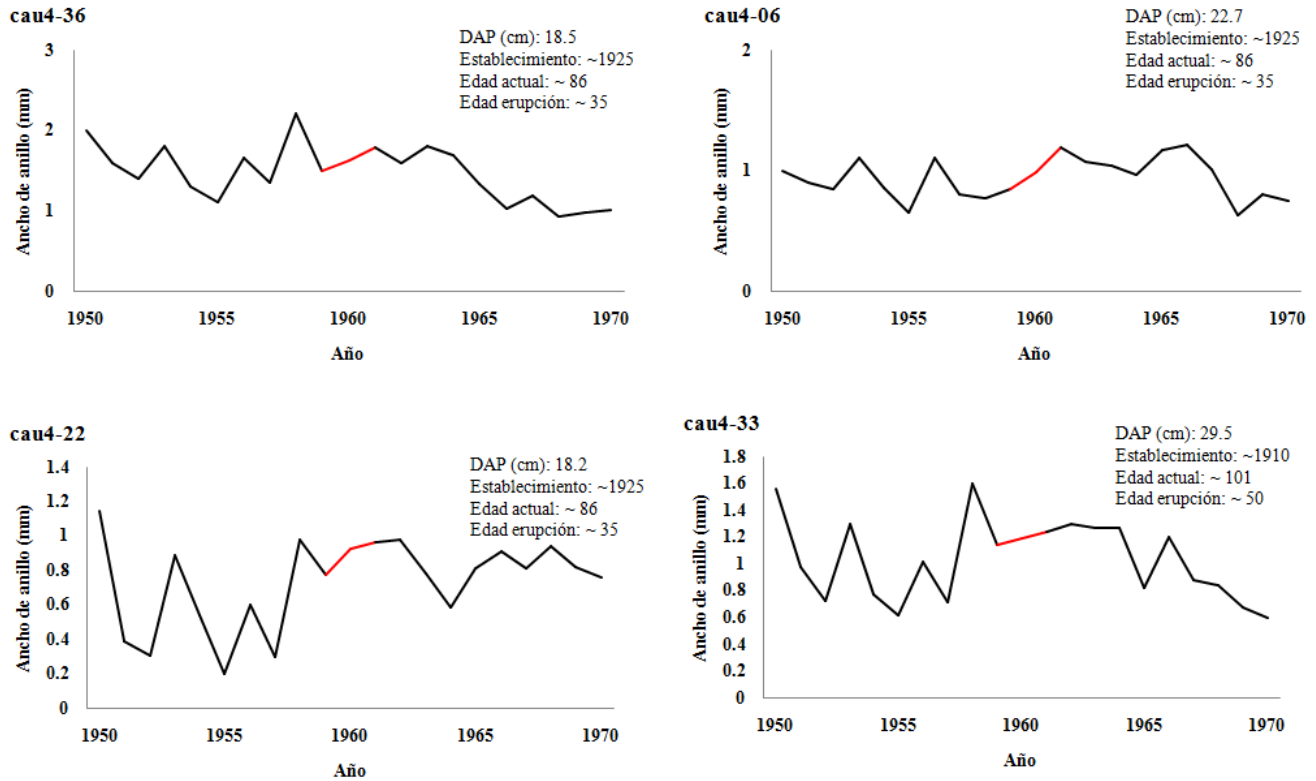


Figura 6. Ancho de anillos de *N. pumilio* durante el periodo pre- y post erupción del CVPCC en 1960. La línea roja indica una leve liberación luego de la erupción.

5.2.3 Erupción de 2011

Luego de la erupción de junio del 2011, los individuos de *N. pumilio* experimentaron una disminución en el crecimiento en relación al último año pre-erupción. No obstante, esta disminución fue más marcada en los individuos jóvenes (35- 90 años), mostrando una supresión de hasta un 80 % respecto al último año pre-erupción. Si bien los árboles remanentes (150-220 años) mostraron supresión, esta fue comparativamente menor respecto a los individuos más jóvenes, mostrando una disminución no mayor al 15 % respecto al último año pre-erupción.

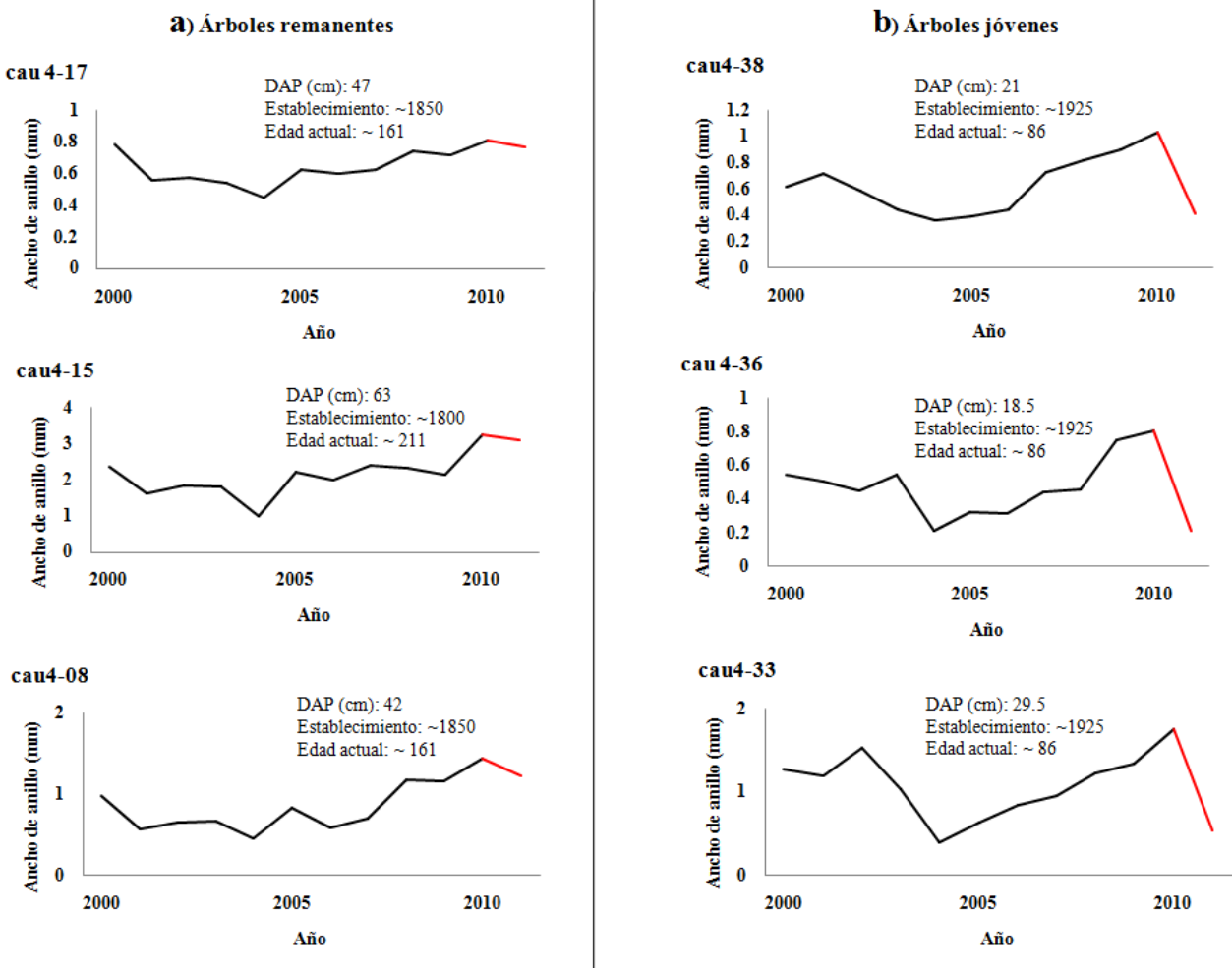


Figura 7. Ancho de anillos de *N. pumilio* durante el periodo pre- y post erupción del CVPCC en 2011. a) árboles remanentes y b) árboles jóvenes. La línea roja indica la supresión luego de la erupción.

6 DISCUSIÓN

6.1 Desarrollo de rodal post incendio

Según las etapas de desarrollo de Oliver (1981), ambos rodales se encontrarían en una etapa de exclusión de fustes. La distribución diamétrica del rodal muestra un típico bosque coetáneo establecido luego de un disturbio de gran severidad (Figura 3a y 4a). Si bien se observaron numerosos árboles remanentes con evidencias de daño por incendio, no es completamente claro que este proceso ecológico destruyó y dio origen al nuevo rodal. Por tanto, no se descarta la posibilidad que este rodal hubiera sido originado luego de la posible erupción del CVPCC en 1893, según los registros disponibles (Lara *et al.*, 2004). Una futura colecta de cicatrices de fuego y árboles de mayor edad podrán dilucidar con mayor claridad el disturbio que originó el rodal.

La fecha de establecimiento de individuos de *N. pumilio* indican un claro pulso a partir de las décadas de 1880 y 1920 en ambos rodales, lo cual indicaría la fecha aproximada del disturbio (figura 4b y 5b). Los árboles de mayor tamaño y edad corresponden a individuos remanentes de cohortes anteriores, sobrevivientes del último incendio y/o erupciones pasadas. Estos remanentes, que constituyen algunos de los legados biológicos post incendio, tienen un rol crítico en la recuperación y respuesta de estos ecosistemas luego de este tipo de disturbio (González & Veblen, 2007). Esto porque la recolonización ocurre a través del establecimiento de los propágulos producidos por los escasos árboles remanentes que sobreviven al disturbio.

6.2 Efecto de la caída de tefra sobre el crecimiento radial

Los factores que podrían explicar la reducción en el crecimiento de los árboles de un rodal luego de una erupción volcánica se puede atribuir a la caída de cenizas volcánicas y lluvia de tefra. Luego de la erupción del Monte Santa Helena en 1980, Seymour *et al.* (1983), concluyeron que el daño mecánico sobre el follaje en y la acumulación de ceniza en individuos de *Abies amabilis* limita la cantidad de tejido fotosintético, mientras que la capa de ceniza que tapa los estomas impide el intercambio gaseoso entre la epidermis de la acícula y la atmósfera y aumenta la temperatura de la acícula. Sin embargo, y a diferencia de la mayoría de las coníferas perennes del hemisferio norte, *N. pumilio* es una especie caducifolia, por lo tanto, no podemos atribuir un mayor impacto por depósito de tefra sobre sus hojas durante la erupción de junio de año 2011, ya que se encontraba sin hojas al momento de la erupción.

Sin embargo, durante la erupción de diciembre de 1921, lenga pudo ver interrumpida su capacidad fotosintética y reserva de nutrientes al menos durante el primer año, ya que las hojas bien pudieron haber sido quemadas productos del calor producido por la erupción.

El manto de cenizas (y barro, tan pronto como la lluvia comienza a caer) que cubre el suelo, disminuye la aireación de las raíces y la química del suelo, que a su vez puede afectar la absorción de agua y nutrientes. También la tefra podría obstaculizar el suministro de fotosintatos, la función metabólica, la producción de auxina y el transporte a la parte baja del tallo, por lo que el crecimiento de la madera se retrasa (Eggler, 1967). Para la erupción de 2011 la capa de tefra alcanzó una profundidad de al menos 50 cm de profundidad, observándose una capa superficial relativamente impermeable. Es posible que durante la erupción de 1921 esta capa superficial se haya mantenido por más tiempo debido al constante depósito de ceniza y a la disminución de las precipitaciones durante el período de verano.

Al parecer, los árboles más jóvenes son más susceptibles al impacto de la tefra, los cuales experimentaron una mayor disminución en el crecimiento respecto a los árboles remanentes (figura 6). Posiblemente esto se debe a que poseen un sistema radicular menos desarrollado, por lo cual podrían experimentar una alta mortalidad de raíces finas. Además, estos árboles jóvenes forman un dosel cerrado y homogéneo en donde la competencia por llegar a lo más alto del dosel es muy intensa, por lo tanto, la caída de tefra añade un estrés adicional que podría explicar la mayor disminución en el crecimiento. El hecho de que la reducción del incremento radial sea más notoria en árboles jóvenes se debe al ritmo más acelerado de crecimiento que estos tienen en comparación a los árboles remanentes, los cuales tienden a desarrollar anillos cada vez más pequeños a medida que aumentan su DAP debido al gasto energético que esto implica.

Los árboles habrían experimentado un leve aumento de las tasas de crecimiento luego de la erupción de 1960. Posiblemente la capa de tefra (10 cm aprox.) (tabla 2) que cubrió estos bosques fue retirada prontamente debido a la ocurrencia de las precipitaciones de invierno.

Tabla 1. Profundidad aproximada de la tefra durante las erupciones de 1960 y 2011.

Año erupción	Profundidad de tefra (cm)	Referencia
1960	10	Katsui & Katz, 1967
2011	50	Observación personal

También se advirtió un aumento de las tasas de crecimiento después de la reducción inicial de incremento radial de los árboles. Similares resultados reportan Abrams *et al.*, 1999 en árboles de los géneros *Abies*–*Acer*–*Quercus* que luego de una década de supresión tras la erupción del Monte Tarumae en 1739 experimentaron un incremento en el crecimiento. Este efecto es típico de zonas en las que el crecimiento del árbol está limitada por la falta de nutrientes del suelo y / o por la competencia con los individuos de los alrededores. Según Segura *et al.* (1995), la ceniza que impulsa la fertilización y la muerte parcial de individuos del rodal incrementan las posibilidades de crecimiento de los árboles sobrevivientes después de una caída inicial de crecimiento.

7 CONCLUSIONES

- Este estudio confirma el rol preponderante del fuego y la actividad volcánica en la ecología y dinámica de los bosques andinos dominados por *Nothofagus*.
- El rodal analizado correspondió a un bosque puro coetáneo de *N. pumilio* establecido luego de un disturbio de alta severidad ocurrido alrededor de 1880. Los árboles sobrevivientes al evento (fuego o caída de tefra), fueron la fuente de semillas para el establecimiento de la nueva cohorte.
- Aunque sólo se logró analizar un solo período de crecimiento luego de la erupción del año 2011, existiría un efecto diferencial sobre el crecimiento de los individuos entre los árboles jóvenes y maduros como consecuencia a la caída de tefra.
- Considerando las tres últimas erupciones volcánicas documentadas del CVPCC, que tuvieron por efecto principal la caída de tefra sobre una amplia zona geográfica, sólo la erupción de mayo de 1960 no resultó en la disminución drástica del incremento radial. Esto indicaría que el espesor de la capa de tefra resulta ser el principal factor para explicar el efecto sobre el crecimiento radial en esta especie luego de una erupción volcánica.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Alauzis, V., M.J. Mazzarino, E. Rafaele, L. Roselli. 2004. Wildfire in NW Patagonia: long-term effects on a *Nothofagus* forest soil. *Forest Ecology and Management* 192: 131-142.
- Agee, J.K. 1998. The landscape ecology of western forest fire regimes. *Northwest Science*, 72: 23–34
- Baisan, C.H., T.W. Swetnam. 1990. Fire history on a desert mountain range: rincon mountain wilderness, USA. *Canadian Journal of Forests Research* 20: 1559–1569
- Biondi, F., I. Galindo, A. Elizalde, J. Gavilanes. 2003. Tree growth response to the 1913 eruption on Volcan de Colima, Mexico. *Quaternary Research*, 59: 293–299.
- Bubach, D., S. Pérez Catán, M. Arribére, S. Ribeiro Guevara. 2012. Bioindication of volatile elements emission by the Puyehue-Cordón Caulle (North Patagonia) volcanic event in 2011. *Chemosphere*, 88 (5): 584-590
- del Moral, R. 1983. Initial recovery of subalpine vegetation on Mount St. Helens. *American Midland Naturalist*, 109: 72-80.
- Donoso, C. 1993. Estructura, variación y dinámica de bosques templados de Chile y Argentina. *Ecología Forestal*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 483 p.
- Druce, A.P. 1966. Tree-ring dating of recent volcanic ash and lapilli, Mt Egmont. *New Zealand Journal of Botany*, 4: 3 - 41.
- 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
- Eggleter, W.A. 1967. Influence of Volcanic Eruptions on Xylem Growth Patterns. *Ecology*, 48:644–647
- Fajardo, A., R. de Graaf. 2004. Tree dynamics in canopy gaps in old-growth forests of *Nothofagus pumilio* in Southern Chile. *Plant Ecology*, 173: 95-106.

- González, M.E., T.T. Veblen. 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., T.T. Veblen, J. S. Sibold. 2005. Fire history of *Araucaria - Nothofagus* forest in Villarrica National Park, Chile. *Journal of Biogeography*, 32: 1187-1202.
- González, M.E., T.T. Veblen, J.S. Sibold. 2010a. Influence of fire severity on stand development of *Araucaria araucana* – *Nothofagus pumilio* stands in the Andean cordillera of south-central Chile. *Austral Ecology*, 35:597-615
- González, M.E., M. Szejner, A. Muñoz, J. Silva. 2010b. Incendios catastróficos en bosques andinos de *Araucaria-Nothofagus*: efecto de la severidad y respuesta de la vegetación. *Bosque Nativo*, 46:12-17
- Hinckley, T.M., H. Imoto, K. Lee, S. Lacker, Y. Morikawa, K.A. Vogt, C.C Grier, M.R. Keyes, R.O. Teskey, V. Seymour. 1984. Impact of tephra deposition on growth in conifers: the year of the eruption. *Canadian Journal of Forest Research*, 14: 731–739.
- Holmes, R. 1983. Computer assisted quality control in tree-ring dating and measurements. *Tree-ring Bulletin*, 44: 69-75.
- Katsui, J., H. Katz. 1967. Lateral fissure eruptions in the Southern Andes of Chile. *Journal of the Faculty of Science (Hokkaido) Series 4, Geology and mineralogy*, 13 (4): 433-448
- Kitberger, T., T.T. Veblen, R. Villalba. 1995. Tectonic influences on tree growth in northern Patagonia, Argentina: the roles of substrate stability and climatic variation. *Canadian Journal of Forest Research*, 25: 1684-1696
- Kitberger, T., E. Raffaele, K. Heinemann, M.J. Mazzarino. 2005. Effects of fire severity in a north Patagonian subalpine forest. *Journal of Vegetation Science*, 16: 5-12

Lara, L.E., J. A. Naranjo, H. Moreno. 2004. Rhyodacitic fissure eruption in Southern Andes (Cordón Caulle; 40.5°S) after the 1960 (Mw: 9.5) Chilean earthquake: a structural interpretation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 138: 127– 138

Lara, L.E., A. Lavenu, J. Cembrano, C. Rodríguez. 2006a. Structural controls of volcanism in transversal chains: Resheared faults and neotectonics in the Cordón Caulle–Puyehue area (40.5°S), Southern Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158: 70–86

Lara, L.E., H. Moreno, J.A. Naranjo, S. Matthews, C. Pérez de Arce. 2006b. Magmatic evolution of the Puyehue–Cordón Caulle Volcanic Complex (40° S), Southern Andean Volcanic Zone: From shield to unusual rhyolitic fissure volcanism. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 157: 343–366

Oliver, C.D. 1981. Forest development in North America following major disturbances. *Forest Ecology and Management*, 3: 153-168.

Pollmann, W. 2003. Stand structure and dendroecology of an old-growth *Nothofagus* forest in Conguillio National Park, south Chile. *Forest Ecology and Management*, 176: 87-103

Rebertus, A.J., T. Kitzberger, T.T., Veblen, L.M. Roovers. 1997. Blowdown history and landscape patterns in *Nothofagus* forests in southern Andes, Tierra del Fuego. *Ecology*, 78: 678-692.

Roig, F.A., J. Anchorena, O. Dollenz, A.M. Faggi, Y E. Méndez. 1985. Las comunidades vegetales de la transecta botánica de la Patagonia Austral. In: O. Boelcke, D.M. Moore, y F.A. Roig, (eds.), *Transecta Botánica de la Patagonia Austral*, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, pp. 350-519.

Schulman, E. 1956. *Dendroclimatic changes in semiarid America*. University of Arizona Press, Tucson, USA. 142 p

Segura, G., L.B. Brubaker, J.F. Franklin, T.M. Hinckley, D.A. Maguire, G. Wright. 1994. Recent mortality and decline in mature *Abies amabilis*: the interaction between site factors and tephra deposition from Mount St. Helens. *Canadian Journal of Forest Research*, 24 (6): 1112-1122

- Segura, G., T.M. Hinckley, L.B. Brubaker. 1995a. Variations in radial growth of declining old-growth stands of *Abies amabilis* after tephra deposition from Mount St. Helens. *Canadian Journal of Forest Research*, 25: 1484–1492.
- Segura, G., T.M. Hinckley, C.D. Oliver. 1995b. Stem growth responses of declining mature *Abies amabilis* trees after tephra deposition from Mount St. Helens. *Canadian Journal of Forest Research*, 25: 1493–1502.
- Sepúlveda, F., K. Dorsch, A. Lahsen, S. Bender, C. Palacios. 2004. Chemical and isotopic composition of geothermal discharges from the Puyehue-Cordón Caulle area (40.5° S), Southern Chile. *Geothermics*, 33: 655–673
- Seymour, V.A., T.M. Hinckley, Y. Morikawa, J.F. Franklin. 1983. Foliage damage in coniferous trees following volcanic ashfall from Mt. St. Helens. *Oecologia*, 59:339–343
- Swanson, F.J., J.J Major. 2005. Physical environments, events, and geological-ecological interactions at Mount St. Helens: march 1980-2004. In: Dale, V.H., Swanson, F.J., and Crisafulli, C.M., eds., *Ecological responses to the 1980 eruption of Mount St. Helens*, New York, Springer-Verlag, p. 27-44.
- Tognetti, R., F. Lombardi, B. Lasserre, G. Battipaglia, M. Saurer, P. Cherubini, M. Marchett. 2012. Tree-ring responses in *Araucaria araucana* to two major eruptions of Lonquimay Volcano (Chile). *Trees*, 26: 1805-1819
- Turner, M.G., V.H. Dale, E.H. Everham III. 1997a. Fires, hurricanes, and volcanoes: comparing large disturbances. *BioScience*, 47 (11): 758-768
- Turner, M.G., W.H. Romme, R. H. Gardner, W.W. Hargrove. 1997b. Effects of fire size and pattern on early succession in Yellowstone National Park. *Ecol. Monogr.* 67: 411-433.
- Veblen, T.T. 1979. Structure and dynamics of *Nothofagus* forests near timberline in south-central Chile. *Ecology*, 60: 937-945.

Veblen, T.T. 1985. Forest development in tree fall gaps in the temperate rain forest of Chile. *National Geographic Research*, 1:161-184.

Veblen, T.T. 1992. Regeneration dynamics. En: D.C. Glenn-Lewin, R.K. Peet y T.T. Veblen (Eds.) *Plant Succession: Theory and Prediction*. Chapman and Hall, London. 152-187

Veblen, T.T., D.H. Ashton. 1978. Catastrophic influences on the vegetation of the Valdivian Andes, Chile. *Vegetatio*, 36: 149-167.

Veblen, T.T., D.H. Ashton. 1979. Successional pattern above timberline in south-central Chile. *Vegetatio*, 40 (1): 39-47

Veblen, T.T., C. Donoso. 1987. Alteración natural y dinámica regenerativa de las especies chilenas de *Nothofagus* de la región de Los Lagos. *Bosque*, 8 (2): 133-142

Veblen, T.T., D. H. Ashton, F. M. Schlegel, A. T. Veblen. 1977. Plant succession in a timberline depressed by vulcanism in south-central Chile. *Journal of Biogeography*, 4 (3): 275-294.

Veblen, T.T., T. Kitzberger, A. Lara. 1992. Disturbance and forest dynamics along a transect from andean rain forest to Patagonian shrubland. *Journal of Vegetation Science*, 3 (4): 507-520

Veblen, T.T., T. Kitzberger, B.R. Burns, A.J. Rebertus. 1995. Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques andinos del sur de Chile y Argentina. En: J.J. Armesto, M.K. Arroyo, and C. Villagrán (eds.), *Ecología del Bosque Nativo de Chile*. Universidad de Chile, 169-198 p

Veblen, T.T., C. Donoso, F. M. Schlegel, B. Escobar. 1996. Forest dynamics in south-central Chile. *Journal of Biogeography*, 8 (3): 211-247.

Veblen, T.T., T. Kitzberger, E. Raffaele, D. C. Lorenz. 2003. Fire History and vegetation changes in northern Patagonia, Argentina. In: T.T. Veblen, W.L. Baker, G. Montenegro and T.W. Swetnam (eds). *Fire Regimes and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas*. Springer-Verlag. 265-295

Vogel, A., R. Hildbrand-Vogel, R. Godoy. 1994. Auswirkungen eines Aschefalls auf die Vegetation eines Südbuchenwaldes in Westpatagonien. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 34: 177-186.

White, P.S. 1979. Pattern, process, and natural disturbance in vegetation. *Botanical Review* 45: 229-299

Yamaguchi, D.K. 1983. New tree-ring dates for recent eruptions of Mount St. Helens. *Quaternary Research*, 20: 246–250

Yamaguchi, D.K. 1985. Tree-ring evidence for a two-year interval between recent prehistoric explosive eruptions of Mount St. Helens. *Geology*, 13: 554– 557.

Anexo

ABSTRACT

Numerous volcanic eruptions have shaped the landscape of the Andes of south-central Chile. Traditionally these large disturbances defined in terms of catastrophic events and have been recognized as an important factors that determine the structure, composition and processes in the dynamics of these forests. In second growth subalpine forest stands located in the Puyehue National Park we evaluate the effect of wildfires on the tree establishment and development and also the influence of tephra fall on the radial growth patterns of *Nothofagus pumilio* associated with three volcanic events (1921-1922, 1960 and 2011) from Volcano Puyehue-Cordon Caulle complex. The results indicate a pulse of establishment from 1880, showing at least two clear cohorts in each stand studied. Tephra fall had an important effect in the suppression of tree-ring growth for the 1921-22 eruption , a slight release for the 1960 eruption and a distinct reduction in tree-ring growth for young trees (~80 %) and adults (~ 15 %) compared to growth during the years prior to the eruption of 2011 . The presence of biological legacies after fire occurrence seems critical for the successful recruitment of *N. pumilio*. Meanwhile, the depth of the tephra layer is a key factor to explain the growth response of this species after volcanic eruption.

Keywords: Disturbances, fire, volcanism, radial growth