

TESINA DE GRADO



“Reconstrucción de volteo por viento en los valles del Río Toro y del Río de las Vueltas (El Chaltén, provincia de Santa Cruz) a través del análisis de los anillos de crecimiento de *Nothofagus pumilio* (lenga)”

Tesinista: Ruiz, Matías Fernando

Director: Amoroso, Mariano Martín.



ING. EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Instituto Nacional de Nivología, Glaciología e Historia Ambiental (IANIGLA)

2013

Agradecimientos

Esta tesina es el resultado del trabajo, dedicación, acompañamiento, y tiempo de muchas personas que intentaré resumir en los párrafos subsiguientes.

En primer lugar quisiera agradecer a mis padres, por la dedicación, cariño, y por el esfuerzo de entregarme la mejor herencia de formación y educación. Por el apoyo constante de las locuras de su hijo.

A mis amigos y compañeros de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, por todos los años compartidos, por las horas de estudios, por las vivencias y viajes realizados. Por los mates y los asados que nos supieron acompañar en este proceso de formación.

A la Universidad Nacional de Cuyo, a la Facultad de Ciencias Agrarias, y a todos los profesores que pasaron por mi formación académica, dedicando tiempo, predisposición y sus conocimientos, para que llegara este día.

A mi director Mariano Amoroso, quien estuvo conmigo desde el principio ayudándome a darle forma a esta tesina. Por sus valiosos aportes y su buena predisposición en todo momento hicieron quizás que sea un poco más ameno este trabajo.

A mis evaluadores Clara Pissolito, Juan Álvarez, y Mariano Morales que dedicaron parte de su tiempo, para leer y corregir esta tesina.

A mis compañeros del laboratorio de dendrocronología del IANIGLA que siempre me brindaron una mano, consejos para el mejor desarrollo de esta tesina. Gracias Misa, Juli, Marcos, Ali, Brunela.

A los técnicos Quique y Juan Carlos que me dieron una mano en el procesamiento de las muestras.

Al equipo BOV de barrenadores de la campaña de muestreo, por sus pilas a la hora de trabajar, y de caminar, por la buena onda que le pusieron a la Campaña, por la calidad de gente que conocí en ella, y por los conocimientos adquiridos gracias a ellos. Gracias Ricardo, Mariano, Alienor, Claudia, Said. Gracias también a Mae, Ever, Clari e Irene por el tiempo compartido durante la campaña y las charlas compartidas frente a la ansiada olla de la cena en dicha campaña.

A la profesora Nora Martinengo que dedicó parte de su tiempo para ayudarme con los datos estadísticos.

Índice

1. Introducción	8
2. Objetivos	15
2.1 Objetivo general	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
2.3 Hipótesis	16
3. Materiales y Métodos.....	17
3.1. Características de <i>Nothofagus pumilio</i>	17
3.2 Distribución de los bosques de <i>N. pumilio</i> y área de estudio	19
3.3 Sitios de estudio y muestreos a campo	22
3.4 Trabajo de laboratorio	26
3.5 Análisis.....	28
4. Resultados.....	31
4.1 Caracterización de las parcelas estudiadas.....	31
4.2 Análisis del crecimiento radial de <i>N. pumilio</i>	40
4.4 Establecimiento de renovales de <i>N. pumilio</i>	45
4.5 Análisis de los patrones en crecimiento radial	48
4.6 Determinación de eventos de volteo por viento	53
5. Discusión	56
6. Conclusión	65
7. Bibliografía.....	67

Índice de Figuras y Tablas

Figura 1.1: Distintos parches de mortalidad. Bosque de <i>N. pumilio</i>	10
Figura 1.2: Onda de mortalidad de <i>N. pumilio</i>	10
Figura 2.1: Ejemplares de <i>N. pumilio</i> . Estancias Canigó. Santa Cruz.....	18
Figura 2.2: Anillos de crecimiento de <i>N. pumilio</i> (foto 10x2, 1x6).....	19
Figura 2.3: Ubicación del área de estudio.....	21
Tabla 1: Características de las parcelas relevadas.....	22
Figura 2.4: Representación esquemática de las parcelas de muestreo.....	25
Figura 2.5: Parcela de muestreo Valle Río Toro 2013.....	26
Figura 3.1: Distribución espacial de árboles vivos y muertos y su distribución diamétrica de las parcelas SCH.....	33
Figura 3.2: Distribución espacial de árboles vivos y muertos y su distribución diamétrica de las parcelas VRT.....	35
Figura 3.3: Proporción de individuos vivos y muertos de las parcelas relevadas.....	36
Figura 3.4: Diámetro medio a la altura de pecho (DAP) de los árboles en el bosque sin disturbar y bosque disturbado para los sitios de estudio.....	37
Figura 3.5: Altura media de los árboles en el bosque sin disturbar y bosque disturbado para los sitios de estudio	38
Figura 3.6: Edad media de individuos vivos de los árboles en el bosque sin disturbar y bosque disturbado para los sitios de estudio.....	39
Figura 3.7: Modo de volteos de los individuos muertos del dosel de las parcelas relevadas.....	41
Figura 3.8: Crecimiento radial promedio del ancho de anillos de los individuos vivos de cada parcela en estudio.....	43

Tabla 2: Fecha de mortalidad de individuos por parcela.....	45
Figura 3.9: Número total de renovales por parcela.....	46
Tabla 3: Número de renovales y número de subparcelas de las parcelas relevadas.....	47
Figura 3.10: Volteos por viento y liberaciones producidas en la parcela SCH 1.....	49
Figura 3.11: Volteos por viento y liberaciones producidas en la parcela SCH 2.....	50
Figura 3.12: Volteos por viento y liberaciones producidas en la parcela VRT 1.....	52
Figura 3.13: Volteos por viento y liberaciones producidas en la parcela VRT 2.....	53

Resumen

La presente tesina tiene como objetivo general la reconstrucción histórica de los volteos por viento en dos valles en los alrededores de El Chaltén, provincia de Santa Cruz analizando los anillos de crecimiento de *Nothofagus pumilio* (lenga). Se proponen como hipótesis generales que los bosques de *N. pumilio* en las zonas estudiadas están sujetos a sucesivas tormentas de viento que generan los volteos por lo que la estructura del bosque se va a haber modificada. La metodología principal de trabajo para alcanzar el objetivo planteado incluyó técnicas dendrocronológicas para el datado de individuos vivos y muertos al igual que plántulas y el análisis de los cambios en el crecimiento radial de los individuos adultos (liberaciones). Los principales resultados mostraron que los eventos de volteos se suceden entre los años 1972 y 2007. El establecimiento de las plántulas de *N. pumilio*, resultó (en parte) como consecuencia de la mortalidad de los ejemplares del estrato superior que al dejar un claro en el dosel, permitieron el establecimiento de estas y el incremento de las tasas de crecimiento (liberaciones). No se midieron ni estimaron otros factores que hayan podido influir en el establecimiento.

En base a los resultados obtenidos, se puede afirmar que la especie de *N. pumilio* presenta buenas cualidades dendrocronológicas, que refleja en sus anillos de crecimiento, la historia ambiental pasada, y la incidencia de los disturbios, por lo que presenta un alto potencial, para la reconstrucción de volteos por viento. Con esta tesina se intenta aportar los primeros estudios sobre el efecto de este agente de disturbio en los bosques de la provincia de Santa Cruz.

Palabras claves: *Dendrocronología, disturbio, mortalidad, liberación, establecimiento, bosques Andino Patagónicos.*

1. Introducción

En ecología, se entiende como disturbio, a aquel evento que en un tiempo relativamente corto, causa alteración en la estructura de algunos de los distintos niveles de organización de una comunidad vegetal y a su vez, puede interferir en la modificación y oferta de recursos presentes, ya sea de manera positiva o negativa, ya que implica una remoción de biomasa de la comunidad vegetal (Grime 1979). Es por ello que estudiar los disturbios, antrópicos o naturales, a diferentes escalas temporales y espaciales permite comprender la dinámica de los ecosistemas forestales (Veblen et al. 1994; Turner et al. 1998; Peterson 2000; Franklin et al. 2002). Un ejemplo de disturbio puede ser una sequía que dándole muerte a un árbol, genera una apertura en el dosel que permite la entrada de luz (White y Pickett 1985; Payette et al. 2010). Otros tipos de disturbios, pueden ser el fuego, las avalanchas de nieve, el ataque de insectos, las tormentas de vientos y las erupciones volcánicas. Así, la estructura y composición de un área de bosque, está íntimamente relacionada con la frecuencia y la magnitud de los disturbios, debido que al ocasionar la muerte de algunos ejemplares afectan de mayor o menor medida el crecimiento de las especies vegetales, la estructura arbórea y la dinámica forestal (Oliver y Larson 1996).

El viento es uno de los principales agentes de disturbio que afectan distintos bosques del mundo (Sprugel 1976; Rebertus et al. 1993; Puidefábregas et al. 1999; Timonhy 2006; Zielonka 2009).

Cabe destacar que como cualquier otro disturbio, el impacto o efecto que los vientos imprimen sobre los bosques varía en función de la magnitud (severidad e intensidad), la frecuencia de los mismos, y la extensión del área afectada (Oliver y Larson 1996). Por ejemplo, las tormentas de viento pueden ocasionar claros de grandes extensiones (más de 1km^2), pueden alterar el ambiente y la comunidad vegetal asociada al dejar montículos debido al desarraigo del árbol,

(Puigdefábregas et al. 1999), pueden ocasionar aumentos en la tasa de crecimiento de los individuos que sobreviven al disturbio, pueden verse favorecido el desarrollo del banco de plántulas que se encontraban bajo el dosel superior una vez que se produjo el disturbio (Bava et al. 1999; Suárez 2009). En forma general y en función de su accionar frente a las masas boscosas, los disturbios causados por viento se clasifican en tres categorías (González et al. en prensa): En primer lugar, los *volteos masivos*, en los cuales tormentas de gran intensidad afectan grandes extensiones de bosque, generando parches discretos de mortalidad que tienen gran importancia en la dinámica del paisaje. En segundo lugar, se puede citar a las *ondas de mortalidad*, en las cuales, al producirse la tormenta de viento, ondas o bandas de mortalidad quedan dispuestas en forma perpendicular a los vientos predominantes y en forma de paralelo entre sí. Por último se encuentran la *caída de árboles individuales* que generan claros de menor tamaño producidos por el quiebre o ruptura de las ramas o la caída de un número menor de árboles, o bien parches de pequeña extensión. Gonzalez y su grupo hizo esta categorización para los bosques templados de Chile y Argentina.

Los bosques templados de la región patagónica es una de las regiones donde predominan las tormentas de vientos. Las latitudes comprendidas entre los 30 y 60 grados del hemisferio sur son conocidas por sus fuertes ráfagas de vientos originadas en el océano Pacífico (Rebertus y Veblen 1993; Rebertus et al. 1997; Puigdefrábregas et al. 1999). La Figura 1.1 muestra como el accionar del viento ha dejado bandas de mortalidad paralelas entre sí y perpendiculares a la dirección del viento denominadas "ondas de mortalidad". La Figura 1.2 muestra, ya a nivel de rodal, la estructura post disturbio del parche donde se produjeron los volteos de individuos. La susceptibilidad de los rodales de *Nothofagus* a los volteos por vientos, según Rebertus et al. (1997), aumentaría con la edad de los mismos, probablemente al adquirir mayor altura y siendo más propensos a ser volteados. A su vez se ha postulado que las condiciones edáficas

(estructura del suelo, porcentaje de materia orgánica, pendiente muy pronunciada, entre otros factores) puedan interferir en la naturaleza de estos volteos (Veblen 1979; Rebertus et al. 1997).



Figura 1.1: Distintos parches de mortalidad. Bosque de *Nothofagus pumilio*. Valle de Río Toro 2010. Fotografía tomada por Amoroso M.



Figura 1.2: Onda de Mortalidad de *N. pumilio*. Valle Río Toro 2010. Fotografía tomada por Amoroso M.

Los cambios estructurales de la vegetación están relacionados a la magnitud, frecuencia, e intensidad de este disturbio. La caída masiva de árboles provocada por viento, afecta superficie hasta de 1 km² (Rebertus y Veblen 1993; Rebertus et al. 1997), originando distintas generaciones o cohortes de edades bien diferenciadas, ya que este disturbio influenciaría en las oportunidades de establecimiento de los árboles jóvenes y/o en el incremento de las tasas de crecimiento de los árboles remanentes. Es así entonces, como los espacios (claros) son rápidamente colonizados por renovales de *N. pumilio* dando origen a parches de árboles

pequeños y jóvenes que se mezclan con la matriz de bosque maduro. Esto resulta en mosaicos de grupos de árboles coetáneos pero de diferentes edades como así también en árboles en diferentes estratos (Veblen 1985; Oliver y Larson 1996).

Puigdefábregas et al. (1999) estudiaron la ocurrencia de bandas de mortalidad por volteos por vientos en bosques de *N. betuloides* en la Bahía Buen Suceso (Tierra del Fuego, Argentina). Estos autores describieron que a partir de una región formada por árboles muertos y senescentes, se generaban parches abiertos, que eran colonizados por individuos jóvenes de diferentes tamaños que se extendían y se entremezclaban con el bosque maduro (sin disturbar) donde por lo general comenzaba una nueva “onda” de mortalidad. Concluyeron que el proceso se inicia como consecuencia de la senescencia de un grupo de árboles adultos y un determinado umbral de altura de los mismos. Rebertus y Veblen (1993), por su parte, estudiaron este disturbio muestreando en forma sistemática individuos de *N. pumilio* y *N. betuloides* a lo largo de unas transectas perpendiculares a las llamadas bandas de mortalidad, y encontraron que los eventos de liberaciones se producen de manera gradual en el tiempo con distancias decrecientes a la banda de mortalidad. Por otro lado, encontraron que era posible que los árboles remanentes comiencen a competir por los recursos que fueron liberados, y la tasa de crecimiento radial se vio negativamente afectada, produciendo supresiones en su crecimiento.

El estudio conjunto de los patrones de liberación en el crecimiento en el claro, los patrones de mortalidad en el parche y el establecimiento de plántulas permitiría obtener información acerca de la dinámica de este tipo de disturbio y los efectos que el mismo imprime en el rodal. Es importante, entonces describir las categorías etarias dentro de un dosel, ya que a partir de volteos por vientos vamos a estar en presencia de diferentes franjas de edades debido a la liberación de los recursos que antes eran limitantes produciendo así, tras la muerte de algunos

individuos, la recolonización del claro, o el incremento de las tasas de crecimiento de los árboles remanentes (liberación) (Oliver y Larson 1996).

Como todo ser vivo, los árboles tienen la capacidad de captar y responder a los estímulos ambientales del lugar donde viven convirtiéndose en verdaderos “sensores ambientales”. De modo tal que la variabilidad ambiental que ellos perciben queda registrada en la estructura de sus anillos de crecimiento (Fritts 1976; Schweingruber 2007). Por ende, los anillos de crecimiento de los árboles son registros históricos y a su vez naturales de las condiciones ambientales, tales como la temperatura, precipitación, composición química del agua o del aire, como también así las variaciones en el crecimiento de las comunidades vegetales y la respuesta de las mismas a diferentes disturbios (Blandey 1999). La historia ambiental de los regímenes de disturbios puede ser reconstruida utilizando métodos de identificación de liberaciones en el crecimiento radial en función de criterios predeterminados, por ejemplo en la comparación del ancho de los anillos de crecimiento (Kitzberger et al. 2000) y también requiere la existencia de evidencias adicionales (no derivadas de anillos) que indiquen que dicho disturbio ocurrió en el pasado, o que ocurre habitualmente (Henry y Swan 1974; Lorimer 1989; Kitzberger et al. 2002). La ciencia que estudia los anillos de crecimiento de los árboles, atendiendo el tiempo de formación y su relación con las condiciones medioambientales pasadas de un sitio, se denomina Dendrocronología, y debido a sus aportes, esta ciencia tiene gran utilidad en ecología forestal, climatología histórica, paleobotánica, arqueología e historia (Kaennel y Schweingruber 1995).

Debido a que el ancho de anillo es una variable que representa el crecimiento de cada individuo y especie, un anillo de crecimiento es el resultado de una suma de factores actuales y pasados, y en su expresión (ancho de anillo) se tienen en cuenta tanto las variables de tipo metabólicas (concentración de hormonas, glúcidos), y las de tipo genéticas como también las de influencia ambiental modulando ésta el nivel de las primeras (Fritts 1976; Gutiérrez 1988). A su vez, estos

anillos son registros permanentes, periódicos (anuales) y discontinuos, debido a que se puede disponer de datos para periodos largos, tantos años como la duración de vida de la especie; por ser anuales se puede establecer una correspondencia cronológica de edad y datarlos, y al ser discontinuos es posible el reconocimiento individual de cada uno de estos registros o unidades anuales (Kitzberger et al. 2000). Los registros de ancho de anillos han provisto de importante información para poder entender y estudiar los patrones espaciales y temporales en el crecimiento del bosque como así también su variabilidad a lo largo de gradientes ambientales y su respuesta a diferentes disturbios que modelan el paisaje boscoso (Tardif y Bergeron 1993; Villalba y Veblen 1997; Kitzberger et al. 2000; Lara et al. 2001).

En campañas de muestreo realizadas en los valles Río Toro y Río de las Vueltas, provincia de Santa Cruz, durante los años 2011 y 2012 se documentó la existencia de distintos parches longitudinales con árboles muertos en pie y recolonizados con renovales, además se observaron árboles muertos en pie, árboles inclinados y volteados en la dirección de los vientos predominantes, y árboles de diferentes clases de edades, dando cuenta del paso de uno o más eventos de tormentas de viento. Sin embargo, hasta el momento no se cuenta con estudios sobre la reconstrucción temporal de eventos de volteos por vientos, ni de su impacto en los bosques de *N. pumilio* en la provincia de Santa Cruz, Argentina. Un enfoque dendroecológico de este disturbio, nos va a permitir establecer la estructura de los rodales afectados a través de un análisis espacio-temporal. Así, mediante el fechado del establecimiento de los individuos en el claro, y el fechado de mortalidad de los árboles que componen el rodal, más la información sobre los factores bióticos y abióticos que influyen sobre el rodal en estudio, se puede obtener una reconstrucción histórica de los volteos por viento y de las características del disturbio (Bergeron y Charron 1994; Abrams y Copenheaver 1999; Daniels y Veblen 2004). Por otro lado, *N. pumilio* posee aptitudes xilológicas que han permitido su uso en diferentes tipos de estudios

dendrocronológicos en el pasado (Boninsegna 1992; Srur et al. 2008; Casteller et al. 2009; Palacios 2013).

Para el caso puntual de los volteos por viento en los Valles del Río Toro y del Río de las Vueltas será necesario valerse de más una línea de evidencia para reconstruir la historia de volteos. Es por ello que es importante datar la ocurrencia de eventos de mortalidad, períodos de establecimientos de renovales posterior a las fechas de mortalidad, y la ocurrencia de cambios en el crecimiento de los árboles (Oliver y Larson 1996).

La presente tesina aporta información, a través de estudios dendrocronológicos, sobre la dinámica de los bosques de *N.pumilio* frente a los volteos por vientos en los valles del Río Toro y del Río de las Vueltas. Se considera importante el estudio de esta especie para poder seguir entendiendo la dinámica de los bosques de *Nothofagus* en Patagonia sur, como así también entender los efectos generados por los volteos por vientos en tales bosques.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

- Reconstruir la historia de volteos por vientos en bosques de *Nothofagus pumilio* (lenga), a través de técnicas dendrocronológicas en los valles del Río Toro y del Río de las Vueltas, El Chaltén, Santa Cruz.

2.2 Objetivos específicos

1. Describir la estructura del bosque remanente y la estructura del parche de mortalidad.
2. Determinar las fechas de mortalidad de los individuos muertos en los volteos por vientos en los valles del Río Toro y del Río de las Vueltas.
3. Determinar las fechas de establecimiento de los individuos jóvenes (renovales) en los claros creados por volteos por vientos en los valles del Río Toro y del Río de las Vueltas.
4. Cuantificar los cambios en el crecimiento (“liberaciones”) de los individuos remanentes en los volteos por vientos en los valles del Río Toro y del Río de las Vueltas.
5. Reconstruir la historia de volteos por vientos y la dinámica del bosque en cada uno de los valles utilizando las fechas de mortalidad, fechas de establecimiento, y cambios en el crecimiento.
6. Comparar la historia de volteos por vientos y la dinámica del bosque en los valles del Río Toro y del Río de las Vueltas.

2.3 Hipótesis

- Las tormentas de viento generan volteos de árboles que modifican la estructura de los bosques de *N. pumilio*.
- Los bosques de *N. pumilio* de los valles estudiados están sujetos a sucesivas tormentas de viento y volteos.
- Los cambios en la estructura en los bosques de *N. pumilio* y las fechas de ocurrencia de los eventos de volteos por viento en los valles estudiados son los mismos.

3. Materiales y Métodos

3.1. Características de *N. pumilio*

Nothofagus pumilio (Poepp. et Endl.) Krasser es la especie nativa de hojas caducas de gran importancia forestal y de mayor rango de distribución en los ambientes andinos patagónicos (Bava et al. 1999; Martínez Pastur et al. 1999). Es una especie heliófila de tolerancia media (Rush 1993) que posee ciclos de regeneración por claros por lo que es muy común encontrar abundantes signos de regeneración donde se ha caído algún árbol que permita la entrada de luz (Rebertus y Veblen 1993). La dispersión de polen y semillas es anemófila. Sin embargo, las semillas son relativamente pesadas lo que juntamente con las alas rudimentarias que poseen determina que la gran mayoría sean dispersadas por gravedad (Guerrido y Fernández 2007). *N. pumilio* debido a su extenso margen de distribución (como se verá más adelante) presenta una marcada variación en rasgos arquitecturales, morfológicos y ecológicos en respuesta a las distintas condiciones ambientales (Barrera et al. 2000; Cuevas 2000; Premoli 2004). Las observaciones fenológicas indican un acortamiento del período vegetativo al aumentar la altitud (Rusch 1993). En condiciones óptimas la lenga puede alcanzar hasta 35 m de altura y 1,5 m de diámetro (Santos Biloni 1990), presentándose como un árbol de gran porte, de fuste cilíndrico-cónico, con escasa copa y ramificación (Figura 2.1).

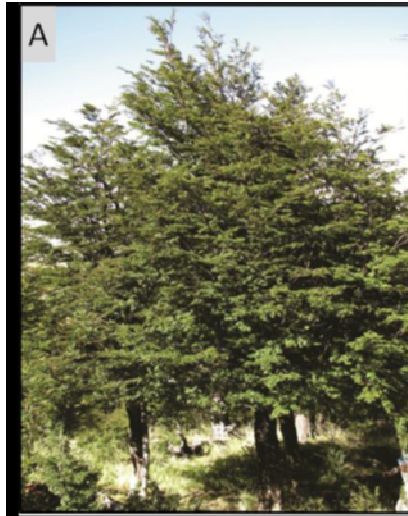


Figura 2.1: A) Ejemplar de *N. pumilio*, Estancia Canigó, Santa Cruz Fuente: Palacios M 2013.

Las especies del género *Nothofagus* tienen buenas características dendrocronológicas lo que ha permitido el estudio de las variaciones climáticas del pasado (Boninsegna 1992). Poseen a su vez, anillos de crecimiento bien definidos, uniformidad circular y una longevidad relativamente alta. Los anillos anuales de crecimiento de *N. pumilio* son reconocidos por la disposición particular de los vasos en la madera (Figura 2.2). Aunque presentan una porosidad difusa, los vasos producidos al comienzo de la temporada de crecimiento son más grandes y tienen paredes celulares más delgadas que las células formadas más tarde en la estación de crecimiento (Masiokas 2009). Es común observar también que las especies del género presentan signos de pudrición en zonas aledañas a la médula.

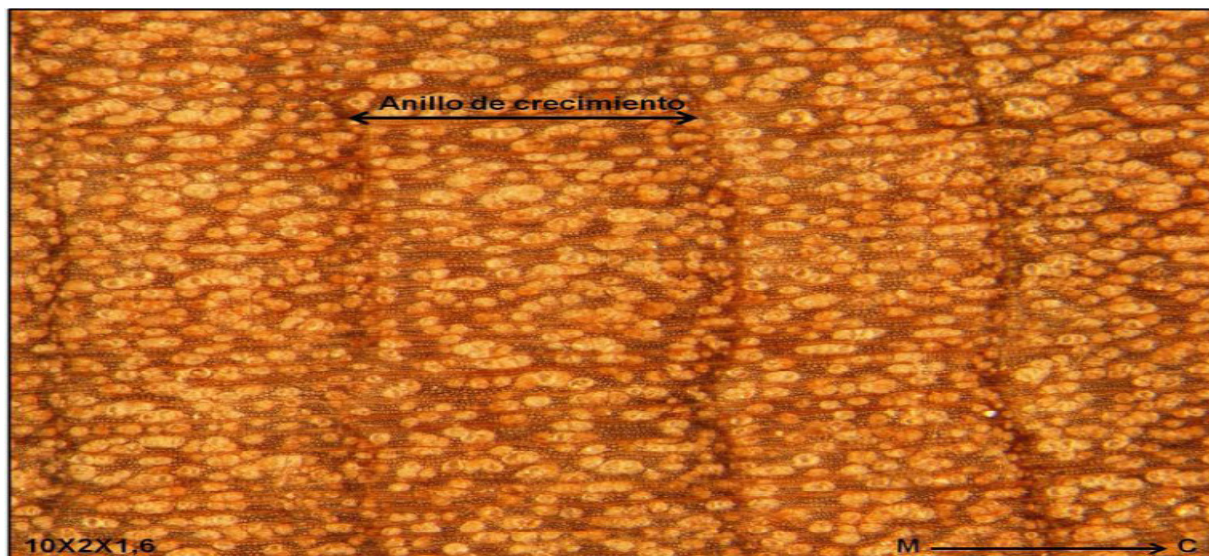


Figura 2.2: Imagen de los anillos de árboles de *N. pumilio* (Foto 10x2x1, 6). La flecha indica la dirección médula-corteza. Cortesía: Palacios M. 2013.

3.2 Distribución de los bosques de *N. pumilio* y área de estudio

A lo largo de sus más de 2000 km de extensión, los bosques de *N. pumilio* se encuentran sometidos principalmente a dos gradientes de variación climática (Bava et al. 1999). Por un lado, el gradiente latitudinal varía desde un clima en el norte con una marcada estacionalidad en las precipitaciones (más de 60% en invierno, es decir un clima mediterráneo), a un clima en su extremo austral con una distribución homogénea de la precipitación en el que no existiría déficit hídrico durante el año (Donoso 1993). La precipitación por lo general disminuye hacia el sur, denotando que a los 55° S, *N. pumilio* ocurre bajo regímenes de precipitación anual entre 400 y 500 mm y debido a la escasa oscilación térmica anual sumada a la elevada nubosidad del lugar y a la humedad, determina un ambiente propicio de baja evaporación, permitiendo el desarrollo de este tipo de bosques bajo precipitaciones inferiores a 500 mm/anuales (Puigdefábregas et al. 1999). Por otro lado, los bosques de lenga muestran también, un abrupto gradiente longitudinal. En la cual con una distancia menor de 100 km es posible encontrar una diferencia en la precipitación que puede superar los 4000 mm/año. Esto se debe a la influencia de los vientos

predominantes desde el Pacífico y el efecto sombra de la Cordillera de los Andes. Así, cerca del centro de su distribución (41° S) la precipitación anual supera los 5000 mm sobre las laderas oeste de los Andes (5600 mm en Antillanca; Muñoz-Schick 1980) y menos de 800 mm en los sitios más orientales en Argentina (Veblen et al. 1987). En su amplia distribución, estos bosques se encuentran en los límites altitudinales de la vegetación arbórea en la Cordillera de los Andes, donde la precipitación en forma de nieve y las temperaturas bajas inhiben el desarrollo de otras especies. La faja de bosque de lenga va disminuyendo su altitud de norte a sur a lo largo de la cordillera de Los Andes. En cuanto a la estructura el bosque puro de lenga, en el área de estudio y en Tierra del Fuego, está formado por un único estrato de árboles que alcanzan los 8 - 20 m de altura con una marcada diferenciación de copas dentro del estrato. Este bosque forma el límite altitudinal entre los 1700-1900 msnm en su distribución norte y a 500 msnm en Tierra del Fuego (Bava et al. 1999), a esas altitudes los árboles crecen achaparrados en respuesta al peso de la nieve y la acción de los fuertes vientos (Aravena et al. 2002), en la distribución más austral también aparece representado el ñire (*N. antártica*) junto a la lenga.

El área de estudio (Figura 2.3) se encuentra ubicada en la vertiente este de los Andes patagónicos en los Valles del Río Toro y del Río de las Vueltas en las cercanías de la localidad de El Chaltén (49° 22' S; 72° 55' O), Santa Cruz, Argentina.

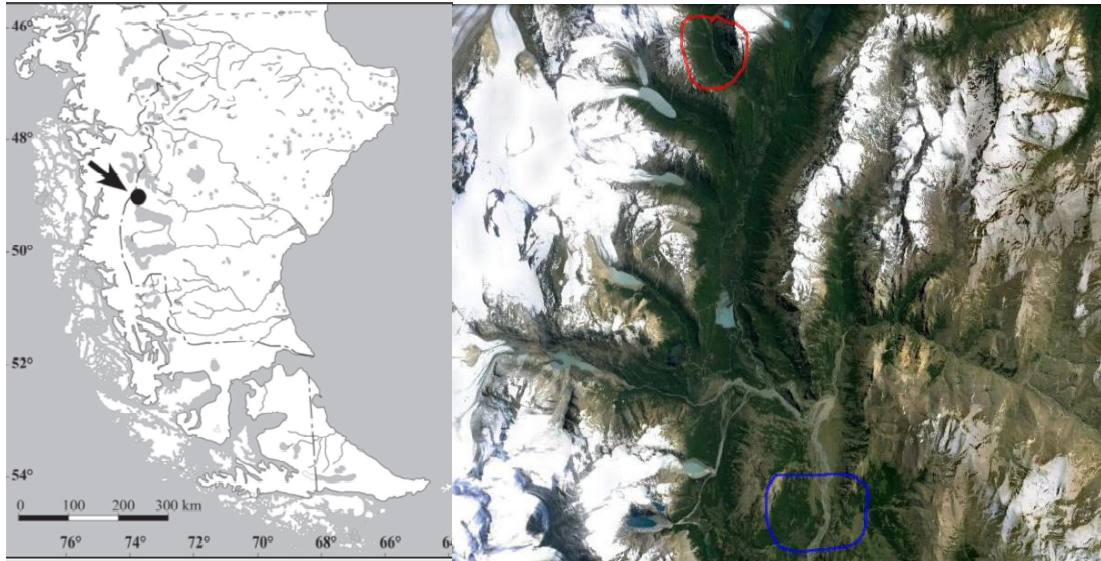


Figura 2.3: Ubicación del área de estudio (izquierda). El punto negro representa la localidad de El Chaltén. A la derecha, se encuentran marcadas las parcelas estudiadas, en el globo rojo, se encuentra la ubicación de las parcelas Valle Río Toro, en el globo azul, se encuentran las parcelas Valle Río de las Vueltas (Salto El Chorrillo).

Dentro de este gradiente se registran importantes variaciones de la temperatura y las precipitaciones. La temperatura media anual disminuye notoriamente con la altitud desde los 7°C en El Chaltén (Administración de Parques Nacionales, Delegación de El Chaltén, 405 msnm) hasta los 6°C a los 760 m de altitud y a menos de 2°C a los 1.100 m de altitud (Srur et al. 2008; Casteler 2009). El gradiente de precipitación en esta región es también muy marcado, pudiendo la precipitación media anual exceder los 700 mm en Loma de las Pizarras, a solo 6,5 km al oeste de El Chaltén (Dimitri 1972), y llegar a los 438 mm en la seccional de la Administración de Parques Nacionales en la delegación de El Chaltén (405 msnm).

Los bosques de *N. pumilio* en el área de estudio pertenecen a la Provincia Subantártica o de los Bosques Andinos Patagónicos dentro del distrito fitogeográfico subantártico del bosque caducifolio (Cabrera 1976) y se extienden a lo largo un gradiente altitudinal desde los 500 a los 1.150 m de altitud. El estrato arbustivo según Guerrido y Fernandez (2007), está formado por *Berberis microphylla* (calafate), *Gaultheria mucronata* (chaura), *Maytenus disticha* (leña dura),

Ribes magellanicum (parrilla), y *Myoschilos oblongum* (codocoipu). La densidad de herbáceas varían según la mayor o menor disponibilidad de luz (Roig et al. 1985). Cabe mencionar que en la campaña de muestreo, mientras se accedía a las parcelas de volteos por vientos para ser analizadas, se notó de forma general que la proporción de *Escallonia rubra* (siete camisas), *Gunnera magallánica* (frutilla del diablo), *Empetrum rubrum* (mutilla), *Discaria chacaye* (chacay) era importante en los sitios de muestreo.

3.3 Sitios de estudio y muestreos a campo

Los muestreos dendrocronológicos se realizaron en bosques de *N. pumilio* ubicados en los valles del Río de las Vueltas (Parque Nacional Los Glaciares) y del Río Toro (Estancia Río Toro). Se seleccionaron cuatro sitios de muestreo, de los cuales dos pertenecen al Valle Río Toro, y los dos restantes, al Valle Río de las Vueltas. La Tabla 2 muestra la ubicación de los cuatro sitios donde se realizaron los muestreos y su código correspondiente para diferenciarlas.

Tabla 2: Caracterización de las parcelas relevadas en el Valle Río Toro y Valle de las Vueltas.

PARCELA	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION
VRT1	Valle Río Toro 1	49° 05' 15.5" S	72° 57' 31.8" O	813
VRT 2	Valle Río Toro 2	49° 05' 05.4" S	72° 57' 45.3" O	916
SCH 1	Salto El Chorrillo 1	49° 17' 31.0" S	72° 54' 43.0" O	640
SCH 2	Salto El Chorrillo 2	49° 17' 00.2" S	72° 54' 31.4" O	693

La zona correspondiente al Valle Río Toro, lugar donde se encuentran las parcelas VRT 1 y VRT 2, están ubicadas sobre el faldeo montañoso del lado oeste del valle, junto a la cual además de las dos parcelas en estudio, se encontraban otras 5-6 ondas de mortalidad a causa de los volteos por viento. Estos sitios se encuentran fuera del Parque Nacional Los Glaciares.

Por otro lado, las parcelas correspondientes al Valle Río de las Vueltas (Salto el Chorrillo) están ubicadas en un morro en el cual además de las dos parcelas relevadas se encontraban dos parches adicionales de onda de mortalidad. Estas parcelas estaban dentro del Parque Nacional Los Glaciares.

Con el fin de describir y cuantificar el impacto de los volteos por viento en la estructura de estos bosques se realizaron transectas de vegetación, las cuales se ubicaron en dirección a los vientos predominantes de cada valle en estudio y en la zona de transición entre la zona de mortalidad de árboles por los volteos y la zona de bosque sin afectar. Esta transecta se procedió a colocarse en el medio de la onda. Las mismas tuvieron un tamaño variable en función de la altura de los árboles dominantes del bosque. El largo fue cuatro veces la altura de los árboles dominantes (dos largos en la zona de mortalidad de árboles por los volteos y 2 largos en la zona de bosque sin afectar), mientras que el ancho de las mismas fue de 4 metros en todos los casos. De forma tal que si por ejemplo los árboles dominantes poseían una altura de 14 metros, la transecta tuvo una longitud de 56 metros, 28 metros abarcando el claro (zona de mortalidad) y 28 metros en la zona del bosque sin disturbar (Figura 2.2 y Figura 2.3). Dentro de las transectas se muestrearon todos los árboles con una altura superior a los 1,30 metros, tanto vivos como muertos. De cada uno de estos árboles se colectó la siguiente información: número de ejemplar muestreado, diámetro a la altura de pecho (DAP), posición dentro de la transecta (un valor Y dado por el largo de la transecta, y un valor X dado por el ancho de la misma), la altura total del árbol, si el ejemplar se encontraba vivo o muerto, modo de volteo (partido o desraizado) y cualquier otra información de relevancia como ser presencia de algún daño de copa aparente, falta de corteza, etc. De cada uno de los individuos muestreados se extrajeron una o dos muestras de barreno (tarugos) utilizando un barreno tipo Pressler, que fueron guardadas en sorbetes plásticos selladas con cinta adhesiva y rotuladas. De cada individuo se tomó además la altura a la cual el árbol fue barrenado. En el caso de los árboles

mueritos se extrajeron en lo posible dos muestras para garantizar el correcto fechado de los arboles garantizando la presencia de corteza o del último anillo; de no ser posible el barrenado, se intentó extraer la muestra con la utilización de sierra o serrucho, cuando no fue posible la extracción de la muestra, sólo se localizó espacialmente el ejemplar en la parcela. Como esta especie suele presentar síntomas de pudrición en el centro del tronco a veces solo fue posible la recolección de solo un tarugo. Cuando no era posible barrenar a la altura deseada, se realizó la extracción en la zona donde la altura y la posición permitieran obtener una mejor muestra de tarugo. Debido a que en algunas ocasiones es común que se efectúe la pérdida de la corteza y la erosión de los últimos anillos más externos del fuste por procesos de degradación y pudrición, dificultando datar con precisión la fecha exacta de mortalidad (Villalba y Veblen 1997; Kitzberger 2002 et al.; Suarez 2009), en la campaña de muestreo se clasificó de forma cualitativa las características morfológicas en torno a la corteza de los ejemplares muertos que debían ser relevados. Es decir que en la planilla de campo se colocaba si el ejemplar muerto tenía o no corteza.

Con el fin de describir la regeneración (y/o establecimiento más reciente) se establecieron parcelas de 1m x1m (“subparcelas de renovales”) cada 5 metros a lo largo de la transecta. Dentro de estas, se colectó el número de renovales de *N. pumilio* (individuos con una altura menor a 1,30 de altura) y se extrajeron rodajas de cada individuos (o parte de ellos) para determinar la edad y la fecha de establecimiento. En el caso de la parcela de SCH1, como era tan elevado el número de renovales por parcela, se recolecto sólo el 82 % de ellos y contando el resto sin extraerlos.

La Figura 2.2 es una representación esquemática de la ubicación de la transecta (color rojo) y la delimitación de la zona sin disturbar y el parche de mortalidad. Como se puede observar, la transecta de relevamiento tiene la misma dirección que los vientos predominantes. La Figura 2.3 ya a escala real, la parcela acorde a la metodología establecida.

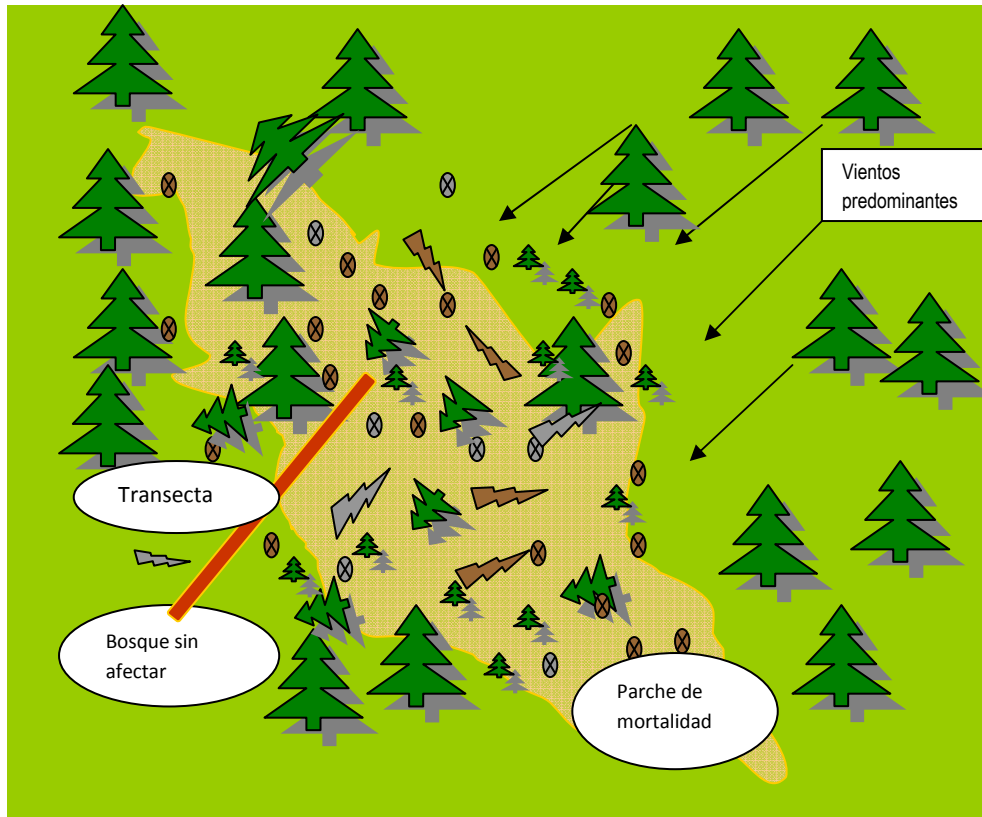


Figura 2.4: Representación esquemática de las parcelas de muestreo.



Figura 2.5: Parcela de muestreo en el Valle Río Toro. Muestreo realizado en el año 2012.

3.4 Trabajo de laboratorio

Las muestras de barreno colectadas, una vez en el laboratorio, fueron sacadas de sus sorbetes plásticos y fueron acondicionadas siguiendo los procedimientos dendrocronológicos convencionales (Stokes y Smiley 1968). Esto incluye el montaje de las muestras de barreno o tarugos en portamuestras de madera acanalados y su posterior secado. En una de las secciones de estos portamuestra se escribió la información que contenía el sorbete de plástico, con el fin de que no se mezclaran las muestras y sus informaciones, lo mismo se realizó con las secciones transversales sacadas con motosierra o serrucho. Todas las muestras fueron posteriormente lijadas con una lijadora de banda y orbital utilizando granulometrías ascendentes de papel (de 80 a 600 granos). Este procedimiento es vital para la correcta visualización de los anillos de crecimiento de los árboles y poder realizar el datado y medición de los mismos posteriormente. Mediante el uso de una lupa estereoscópica se analizaron preliminarmente las muestras para distinguir, por medio de la morfología celular de cada anillo, los verdaderos anillos anuales. Posteriormente, los anillos fueron contados y fechados. Para el fechado se utilizó la convención de Schulman (1956), que asigna a cada anillo la fecha en que se inició el crecimiento. Así por ejemplo, un anillo asignado con año 2000, corresponde al período de crecimiento que va de la primavera del 2000 el otoño del 2001. Los anillos de crecimiento fueron medidos a una precisión de 0.001 mm en un carro de medición incremental Velmex conectado a un computador con el propósito de obtener una serie de anchos de anillo para cada tarugo medido. El control de calidad del fechado visual y corrección de errores se realizó con el programa COFECHA (Grissino-Mayer 2001). Este programa estandariza en índice el valor de la medición original, maximizando la variabilidad interanual mediante transformación de los datos. Luego estas series de índices son comparadas simultáneamente. La similitud entre series, y por lo tanto, la verosimilitud de los datos de cada serie, es evaluada por el valor de correlación obtenido, en períodos de comparación de 50 años superpuestos cada 25 años.

También permite comparar cada serie individual con la serie maestra del sitio. En principio, cada sitio contiene un patrón de anchos de anillos característico. Posteriormente, se realizó la estandarización de los valores medidos y la elaboración final de las cronologías de ancho de anillos para cada sitio mediante el empleo del programa ARSTAN (Cook 1985; versión ARS40Cwin). Este proceso de estandarizado se realizó para remover las señales no climáticas, y/o cualquier tendencia climática que pueden contener las series de mediciones originales del ancho de los anillos de crecimiento, es decir que se obtuvieron series estacionarias, adimensionales, y comparables entre sí (Cook 1985). Las series estandarizadas tienen una media igual a uno y una varianza homogénea a lo largo de la vida del árbol (Fritts 1976; Cook 1985) y por lo tanto son comparables entre sí a pesar de provenir de diferentes sitios y de árboles con distintas velocidades de crecimiento. Para su posterior análisis e interpretación se decidió trabajar con la cronología Estándar. En la cual los índices de ancho de anillo de cada serie que compone la muestra, son promediados estadísticamente, generándose la cronología.

Una vez que se fecharon correctamente los individuos vivos de cada valle, se pasó a fechar visualmente y estadísticamente los ejemplares muertos de cada sitio de estudio. De esta manera, se le asignó el año calendario al anillo más externo y se obtuvo la fecha de muerte de cada individuo. Solo se consideraron las fechas de mortalidad provenientes de individuos con corteza o que el último anillo presentó una coloración grisácea, indicando que el último anillo aún permanece en la muestra.

Con el objetivo de estudiar las fechas de establecimientos de los renovales provenientes de las subparcelas, se realizaron en el laboratorio cortes de secciones transversales de los mismos a la altura del cuello y se dejaron reposar en frascos de vidrio durante 3 semanas en una solución de agua y un agente emulsionante (detergente de cocina). Esta técnica se desarrolló con el fin de que las secciones transversales de los renovales e individuos jóvenes de las subparcelas de renovales, sean más fáciles de cortar a través del micrótopo para obtener cortes histológicos

muy delgados del material, y permitan la entrada de luz para poder efectuar el fechado de los mismos a través del conteo de los anillos de crecimiento. La Figura 3.6 muestra el número de renovales por parcela estudiada. Es importante aclarar que en la parcela SCH1, si bien figuran 587 renovales, no fueron todos extraídos.

3.5 Análisis

Utilizando el programa SIGMA PLOT 12 se realizó una caracterización de las parcelas estudiadas denotando la distribución espacial de los individuos vivos y muertos en función del largo de cada parcela relevada. También se realizó un gráfico de barras paralelas, mostrando las proporciones de vivos y muertos. Con el objeto de desenmascarar dependencia entre los valores esperados y los observados y recolectados a campo, se desarrolló un test de Chi cuadrado, comparando las proporciones de los individuos vivos y muertos de las parcelas estudiadas (valores observables), con los valores esperados (los cuales se supusieron de un 0,5 para individuos vivos y 0,5 para individuos muertos), haciendo uso de un grado de libertad, y 0,05 % de nivel de significancia. Posteriormente se realizaron gráficos de barras paralelas para los valores promedio de las variables de diámetro medido a la altura de pecho (DAP), altura, y edad de los individuos vivos del bosque disturbado y del bosque sin disturbar. A su vez con el objeto de dilucidar si existían diferencias estadísticas significativas entre los valores medios relevados (DAP, altura, edad) se realizó un Test de Student (test de diferencias de medias) con un nivel de significancia del 0,05 %. Se efectuó también un gráfico de barras para los diferentes tipos de volteos de árboles individuales producidos en las parcelas relevadas. Haciendo uso de un test de Chi cuadrado, se procedió a evaluar las características del tipo de volteo (muerto en pie, muerto partido, muerto volteado), comparando los valores recolectados a campo (valores observados), con los valores esperados (es decir un 0,33 por cada categoría de tipo de volteo), con dos grados de libertad, y un nivel de significancia del 0,05 %.

Con respecto al estudio del crecimiento del ancho de anillo, se realizó una estandarización, para así obtener un índice de ancho de anillos en función del tiempo (años). Para este análisis se utilizó solamente el crecimiento promedio de los individuos vivos de cada parcela relevada. El proceso de estandarización y la elaboración final de las cronologías de ancho de anillos, se realizaron mediante el empleo del programa ARSTAN (Cook 1985; versión ARS40Cwin), en la cual se utilizó un método de estandarización denominado “horizontal line”, en la cual divide el ancho de cada anillo, por el valor medio del ancho de anillo de la serie. Este método se ha utilizado para detectar eventos pasados de disturbio (eventos de volteo por viento en nuestro caso) debido a que conserva las tendencias de crecimiento a largo plazo de árboles individuales y la escala de sus tasas de crecimiento absolutas permitiendo directa comparación de las tasas de crecimiento relativo de árboles de diferentes tamaños. De las cuatro versiones de cronologías se utilizó la versión estándar.

Para estudiar la mortalidad se realizó una tabla con los eventos de mortalidad, diferenciando fechas repetidas, y si las muestras recolectadas, estaban con la corteza adherida o el último anillo presente. Para el estudio del establecimiento en las subparcelas de renovales, se confeccionó una tabla, diferenciando subparcelas, y número de renovales dentro del bosque disturbado, y cuales dentro del bosque sin disturbar. Esta tabla se acompaña con un gráfico de barras denotando la cantidad de renovales presentes en las parcelas.

Una vez fechadas las series de ancho de anillos de los árboles adultos se procedió a estudiar los cambios en el crecimiento de los mismos. La metodología utilizada para estudiar los patrones de incremento en el crecimiento (“liberaciones”) fue la desarrollada por Nowacki y Abrams (1997). Este método calcula el porcentaje de cambio año tras año sobre las series individuales, siguiendo como base la ecuación: $[(M2-M1)/M1] \times 100$, en la cual M1 es el promedio de ancho de anillos de los diez años previos (incluyendo el año en cuestión), y M2 es el promedio de los cinco años subsiguientes. Veblen et al. (1991) define las liberaciones y

supresiones como incremento/decremento relativo de un 250% del crecimiento, en grupos contiguos de cinco años, para una especie intolerante a la sombra. Mundo (2011), en su tesis doctoral trabajando con *A. araucana*, consideró como una liberación a aquel porcentaje de cambio en el crecimiento superior al 25 % y que se mantenga por tres o más años. En esta tesina, se consideró como liberación moderada al porcentaje de cambio superior al 25% mientras que se consideraron liberaciones mayores a los porcentajes de cambio superior al 50% y que se mantengan constante por tres o más años. Las fechas de las liberaciones fueron obtenidas utilizando el paquete JOLTS del DPL (Holmes 1992).

Por último, teniendo los datos de las fechas de mortalidad, la fecha de los establecimientos de las subparcelas de renovales, y las liberaciones de las parcelas en estudio, se procedió a reconstruir la historia de volteos por vientos que se sucedieron en cada parcela. Para tal fin se consideró que la ocurrencia de un evento de volteo por viento estuvo dada por la ocurrencia simultánea de: a) un evento de mortalidad (para el cual al tener una muestra pequeña, se tendrá en cuenta, la fecha de mortalidad en al menos un individuo que haya permanecido con su corteza y/o con el último anillo presente, como indicador); b) un período de establecimientos de renovales en un lapso posterior a la fecha de mortalidad, y c) liberaciones mayores en más de un individuo. Por tal motivo, se utilizó la unificación y comparación de cuatro gráficos para cada uno de los sitios de estudio: un histograma de las fechas de las liberaciones (del 25% y 50%), un histograma de las fechas de mortalidad (con la corteza adherida y/o último anillo presente y sin corteza), un histograma de las fechas de establecimiento de las plántulas y un gráfico de la evolución del índice de ancho de los anillos. Si bien las tres condiciones mencionadas deberían cumplirse para caracterizar y reconocer un evento de viento de alta intensidad, al estudiar la parcela SCH 2 no se encontraron renovales en sus subparcelas para lo cual se optó por modificar la metodología planteada, desestimando la presencia de estos, pero permaneciendo el resto de las características presentes.

4. Resultados

4.1 Caracterización de las parcelas estudiadas

Debido a las diferentes alturas de los individuos en el bosque, las parcelas del Salto el Chorrillo presentaron largos diferentes (Figura 3.1 y Figura 3.5). La parcela SCH 1, que contó con una longitud de 38 metros, presentó una gran variabilidad en el diámetro de los árboles. Los individuos vivos presentaron un rango de valores entre 0,8 cm y 51,2 cm, mientras que los individuos muertos presentaron un rango de valores entre 9,5 cm y 48 cm. La parcela SCH1, presentó mayor cantidad de individuos muertos que de individuos vivos (Figura 3.3). El diámetro de los árboles vivos de la parcela SCH 2, que contó con una longitud de 41 metros, comprendió un rango de valores entre 1,2 cm. y 40,7 cm. Los individuos muertos, por su parte, presentaron un rango de valores entre 3 cm y 80 cm y se encontraron en un mayor número respecto de los individuos vivos (Figura 3.1 y Figura 3.4). Para ambas parcelas, el mayor número de árboles muertos, se encontró dentro de la zona de bosque disturbado.

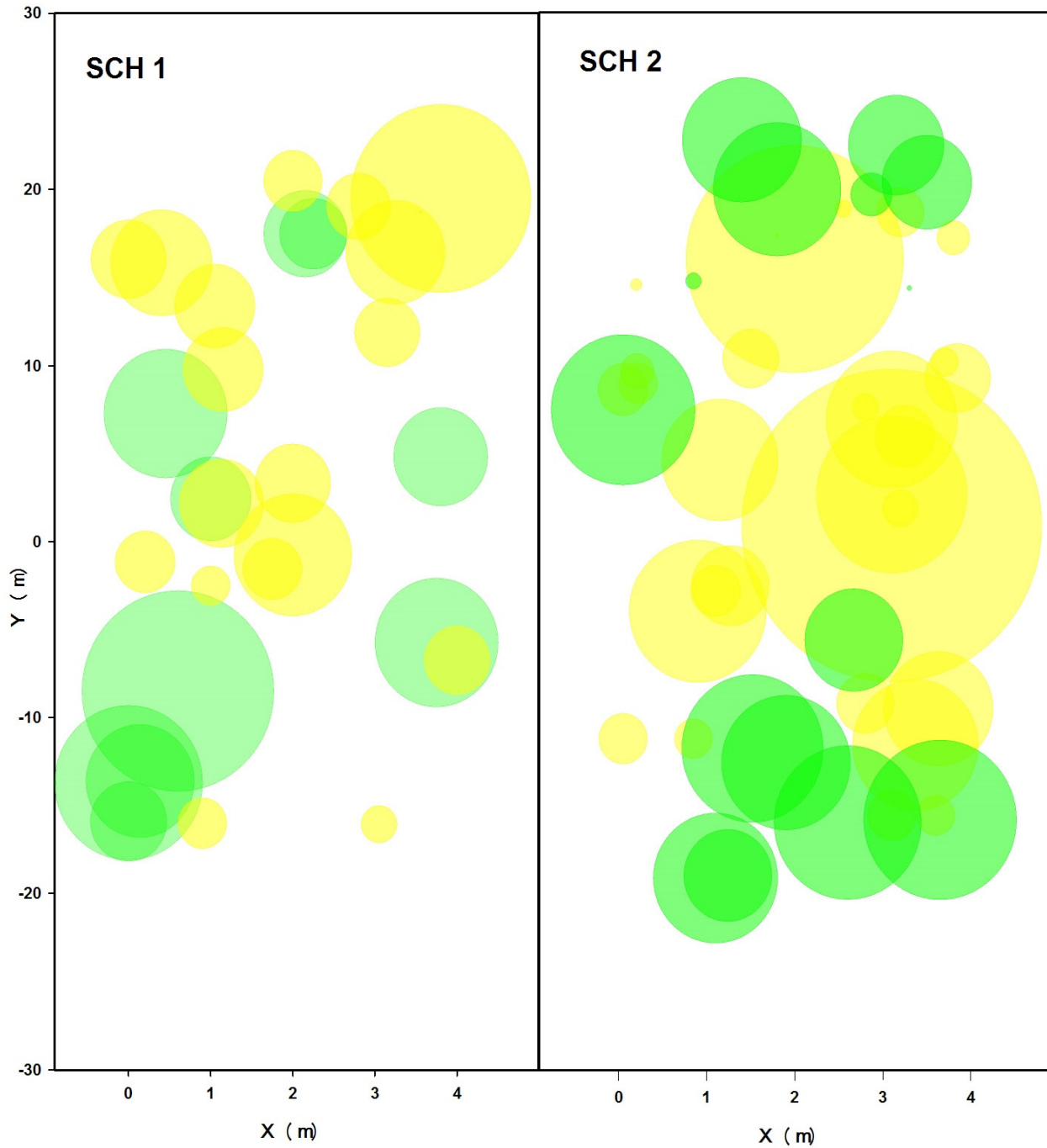


Figura 3.1: Distribución espacial de los árboles vivos (verde) y muertos (amarillo) y su distribución diamétrica (DAP en cm) de las parcelas del Salto el Chorrillo. Valores negativos del eje Y, corresponden al bosque sin disturbio.

Valores positivos del eje Y, corresponden al bosque disturbado.

En lo que respecta a las parcelas de Valle Río Toro, la parcela VRT 1, presentó mayor número de individuos vivos que muertos. El diámetro entre los individuos vivos fue variable alcanzando un rango de valores entre 2,5 cm y 32,5 cm, no tanto así para los individuos muertos, los cuales presentaron un intervalo de medición entre los 5 cm y los 22,1 cm. Esta parcela contó con una longitud de 45,8 metros. Al igual que en la parcela VRT 1, en la parcela VRT 2 el número de individuos vivos fue mayor que el de individuos muertos, siendo la misma de una longitud total de 27,5 metros (Figura 3.2). Los diámetros de los ejemplares vivos presentaron un rango diamétrico entre 1,3 cm y los 24,9 cm, mientras que los ejemplares muertos tal rango estuvo entre 7 cm y los 53,3 cm.

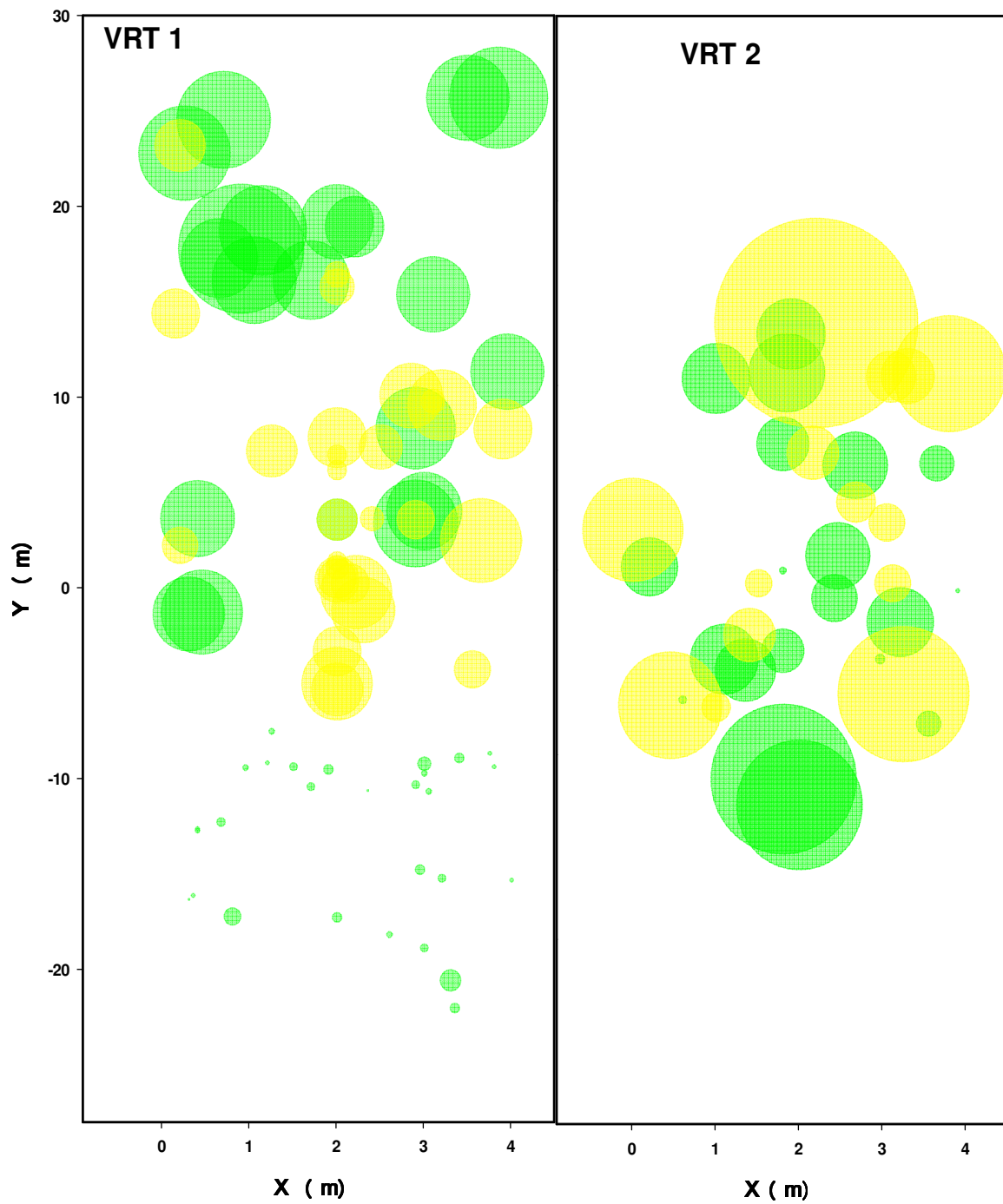


Figura 3.2: Distribución espacial de los árboles vivos (verde) y muertos (amarillo) y su distribución diamétrica (DAP en cm) de las parcelas Valle Río Toro. Valores negativos del eje Y, corresponden al bosque disturbado. Valores positivos del eje Y, corresponden al bosque sin disturbar.

Las parcelas muestreadas en el valle del Río Toro (VRT 1 y VRT2), y en el valle del Río de las Vueltas (SCH1 y SCH2) mostraron diferentes largos y número de individuos presentes. La proporción de individuos vivos y muertos fue variable en los cuatro sitios muestreados (Figura 3.3). Se observa, sin embargo, semejanza entre las parcelas correspondientes al Salto El Chorrillo, en la que la proporción de individuos vivos es menor que la proporción de individuos muertos; pero estas diferencias no resultaron ser independientes con los valores esperados (SCH 1, X^2 : 0,76; g.l: 1 p: 0,05; SCH 2, X^2 : 0,83; g.l: 1 p: 0,05). Este patrón también se repite para las parcelas de Valle Río Toro (VRT2, X^2 : <0,001; g.l: 1 p: 0,05; VRT 1, X^2 : 0,81; g.l: 1 p: 0,05). Sin embargo, en la parcela VRT1 del Valle Río Toro la proporción de individuos vivos fue mayor que la de los muertos; la parcela VRT 2 siguió el mismo patrón que las parcelas de Salto El Chorrillo.

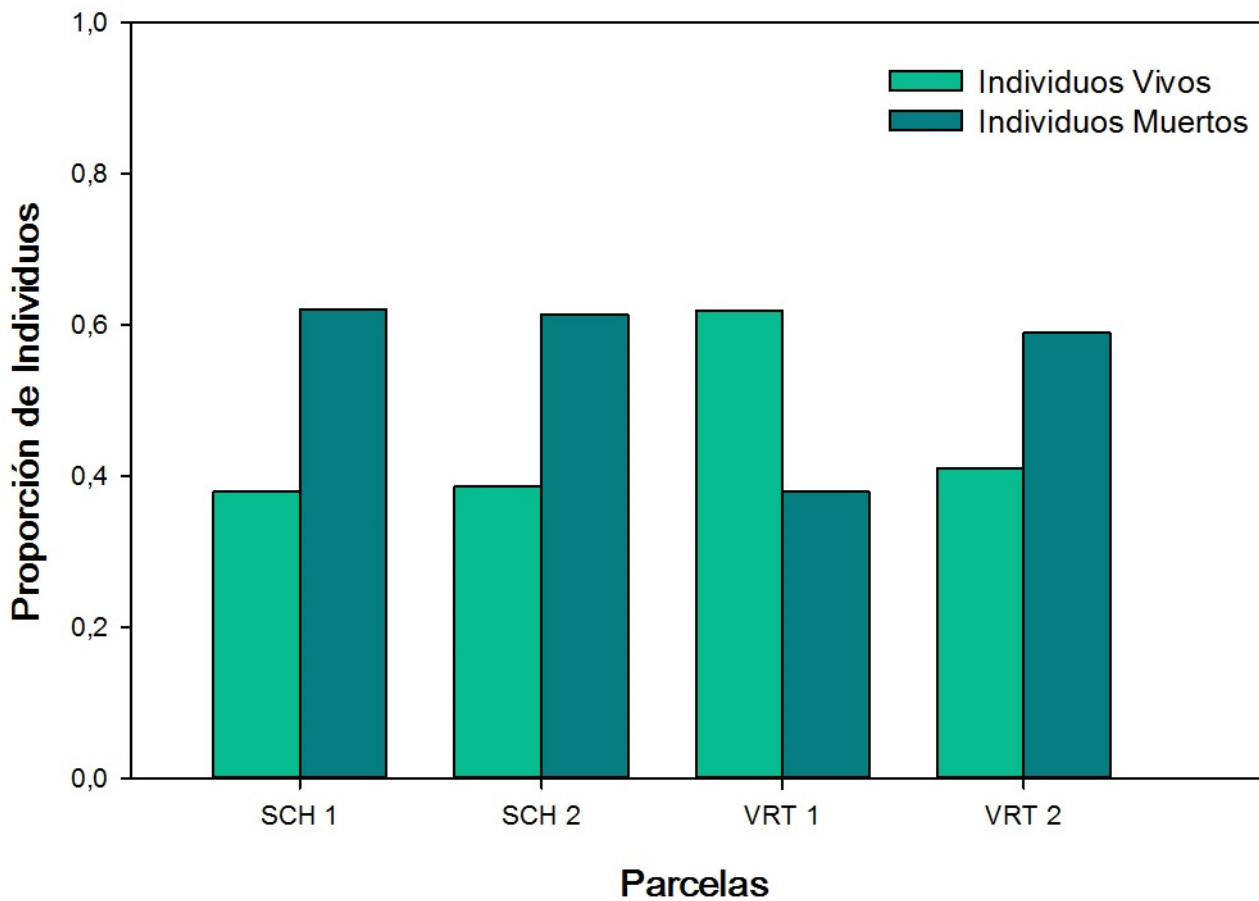


Figura 3.3: Proporción de individuos de lengua vivos (verde) y muertos (verde oscuro) para los sitios de estudio.

El diámetro promedio de todos los árboles relevados de la zona sin disturbar, es decir de la región de bosque maduro, presentó en las parcelas SCH 2, VRT 1 y VRT 2 un valor mayor que su correspondiente zona disturbada, es decir del parche de mortalidad (Figura 3.4). En contraposición, la parcela VRT 1 presentó un valor diamétrico medio superior en la parte del bosque disturbado. Estas diferencias (entre el DAP promedio de los individuos del bosque disturbado y del bosque sin disturbar) fueron significativamente diferentes solamente para la parcela VRT 1 ($t: -6,73$; $p: <0,001$) a diferencia del resto de las parcelas que no presentaron diferencias significativas (SCH 1, $t: -0,21$; $p: 0,83$; SCH 2, $t: 1,87$; $p: 0,068$; VRT 2, $t: -1,28$; $p: 0,28$).

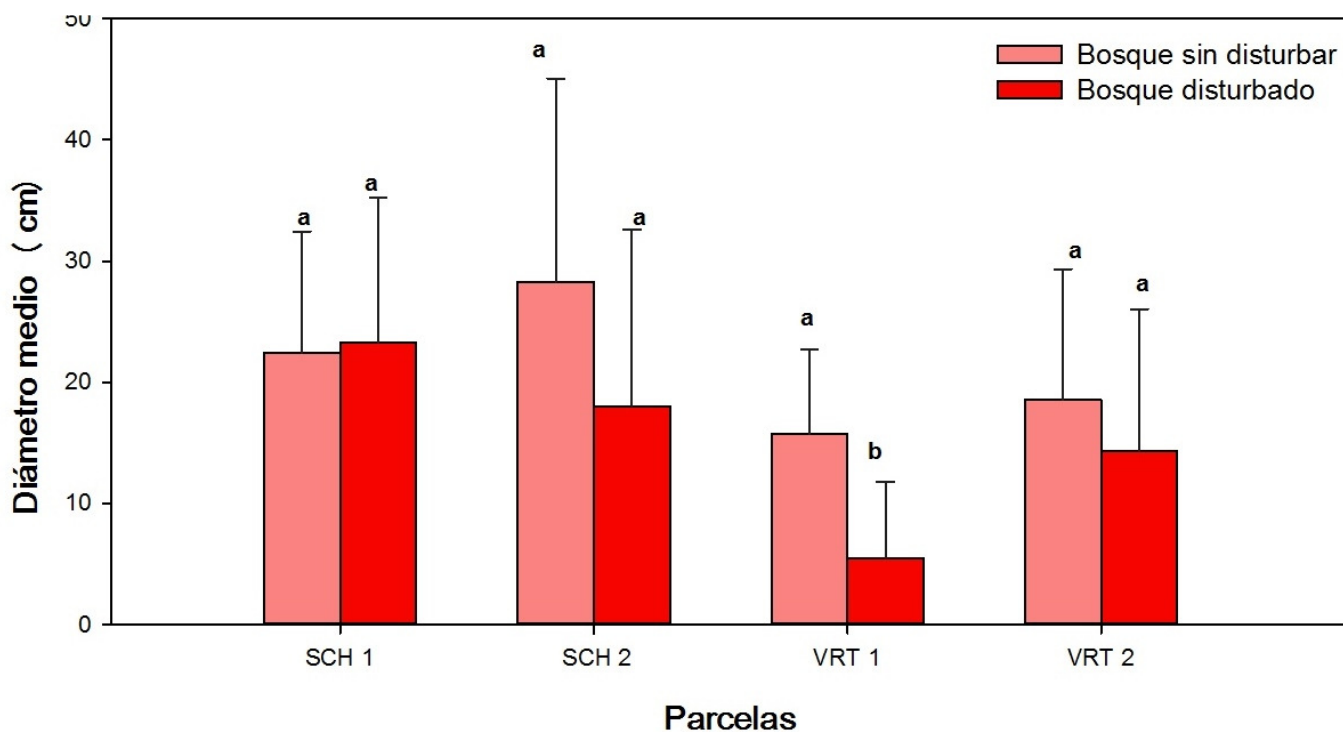


Figura 3.4: Diámetros medios a la altura del pecho (cm) de los árboles en el bosque sin disturbar (rosado) y bosque disturbado (rojo) para los sitios de estudio. Las barras verticales indican desvíos estándar y las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo al Test T ($p < 0,05$).

Otra variable que se muestreó a campo fue la altura de todos los individuos, ya sea vivos y muertos dentro de cada parcela relevada (Figura 3.5). En las parcelas de SCH 1 y VRT1 se encontró que la altura promedio de los árboles relevados dentro del bosque sin disturbar fue superior a los individuos de las mismas parcelas que se encontraban en el bosque disturbado. Sin embargo, en las parcelas de SCH 2 y VRT 2, se obtuvo un valor promedio superior de la altura de los árboles en el bosque disturbado. Solamente en la parcela de VRT 1, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($t: -6,21$; $p: <0,001$) entre los valores de las alturas de los individuos del bosque sin disturbar y los individuos del bosque disturbado. Por el contrario, el resto de las parcelas no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sus valores medios de altura., SCH 1 ($t: -1,63$; $p: 0,11$), SCH 2 ($t: 0,73$; $p: 0,43$), y VRT 2 ($t: 0,24$; $p: 0,81$).

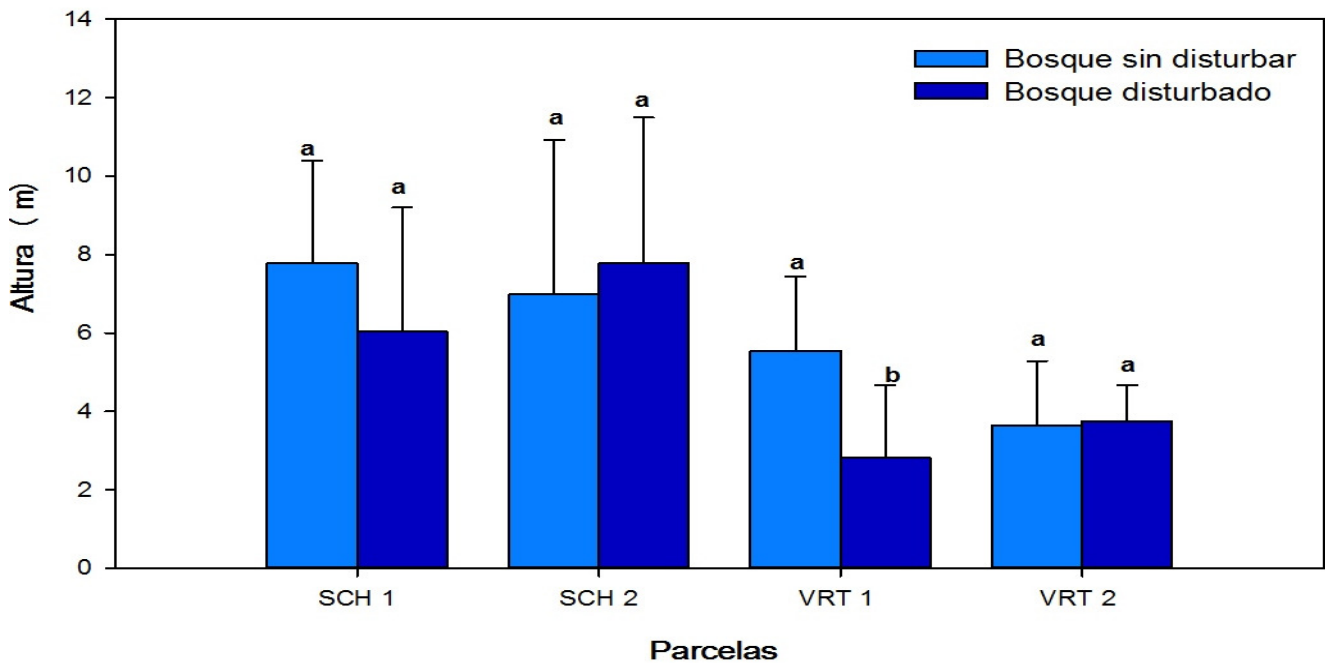


Figura. 3.5: Altura promedio de los individuos del bosque sin disturbar (celeste) del bosque disturbado (azul) para los sitios de estudio. Las barras verticales indican desvíos estándar y las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo al Test T ($p < 0,05$).

Las edades de los individuos mostraron una gran variabilidad en función de los sitios y de la presencia del disturbio (Figura 3.6). En relación a la parcela SCH 1, la zona del bosque disturbado presentó un valor medio superior que su correspondiente bosque sin disturbar. Contrariamente las parcelas SCH 2, VRT1 y VRT 2, presentaron en términos medios, ejemplares más longevos en el bosque sin disturbar. El valor medio de la zona sin disturbar de la parcela VRT 2 fue mayor que la zona disturbada y a su vez, también fue mayor que el resto de las zonas disturbadas y no disturbadas de las tres parcelas restantes. Por el contrario, la zona disturbada de la parcela VRT 1, fue la que presentó un valor medio menor. Sin embargo estas diferencias fueron significativas solo en VRT 1 ($t: -6,18$; $p: 0,001$), y SCH 2 ($t: 3$; $p: 0,01$), mientras que en las parcelas de SCH 1 ($t: 0,32$; $p: 0,77$) y VRT 2 ($t: 0,74$; $p: 0,47$), no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los valores medios de las edades de los individuos vivos dentro del bosque disturbado y del bosque sin disturbar.

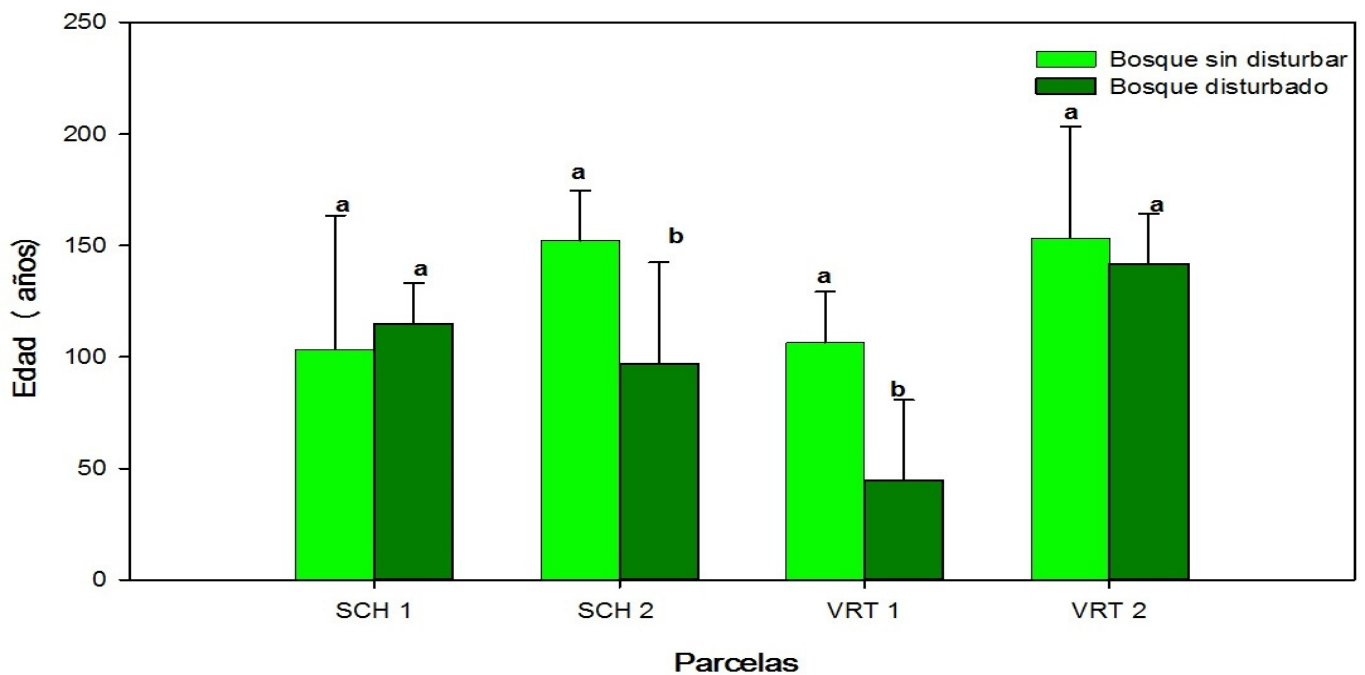


Figura 3.6: Edades promedio de los individuos vivos del bosque sin disturbar (verde claro) del bosque disturbado (verde oscuro). Las barras verticales indican desvíos estándar y las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo al Test T ($p < 0,05$).

El estado y modo de volteo de los árboles muertos para cada una de las parcelas relevadas, queda plasmado en la Figura 3.7. El sitio SCH 1 presentó una gran proporción de individuos muertos en pie. El sitio SCH 2, por su parte, también cuenta con una alta proporción de individuos muertos en pie, pero a diferencia de lo que sucede en la SCH 1, no se encontraron individuos partidos. Por otro lado, en la parcela del sitio VRT 1, se encontró que la mayor proporción de los árboles muertos se encontraban partidos. Esto mismo sucedió en el sitio VRT 2, solo que en esta segunda parcela y a diferencia de VRT 1, se encontró una proporción menor de individuos volteados. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas solo para la parcela de SCH 2 para la cual se encuentra una independencia entre las proporciones observadas y esperadas de los modos de volteo de los individuos muertos (X^2 : 33,9; g.l: 2; p: 0,05). Por otro lado, en el resto de las parcelas SCH 1 (X^2 : 4,39; g.l:2; p: 0,05), VRT 1 (X^2 : 1,95; g.l: 2; p: 0,05), y VRT 2 (X^2 : 4,46; g.l: 2 p: 0,05), los valores entre las proporciones observadas y esperadas de los modos de volteo de los individuos muertos resultaron ser dependientes, unas de otras.

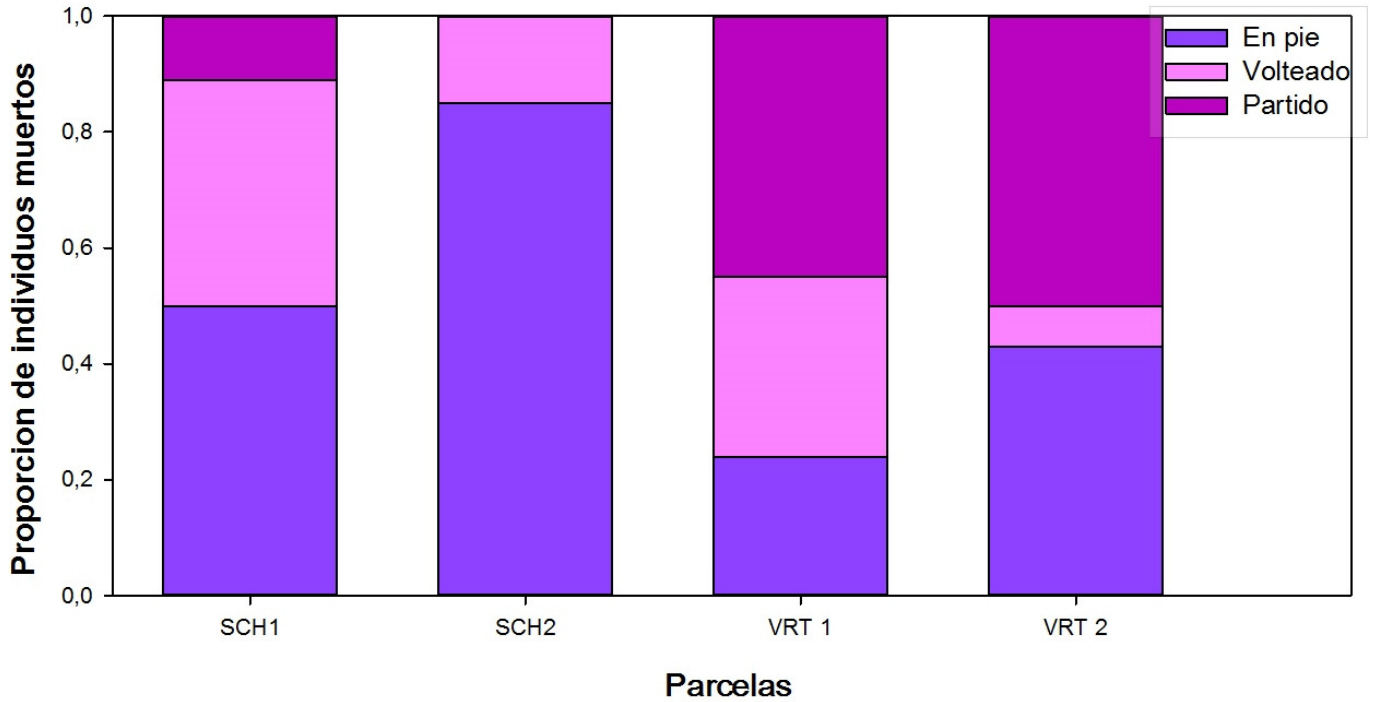


Figura 3.7: Modo de volteo de los individuos muertos en el dosel para los sitios de estudio.

4.2 Análisis del crecimiento radial de *N. pumilio*

El crecimiento radial promedio de los individuos vivos de las cuatro parcelas de estudio fue variable (Figura 3.9). La cronología de ancho de anillo de la parcela VRT 2 resultó ser la más longeva de las cuatro parcelas, presentando individuos que se establecieron en la década de 1690. Por otro lado, la cronología de la parcela SCH 1 resultó ser la más joven, con individuos establecidos en el año 1875. Con respecto a las cronologías de las parcelas de SCH2 y VRT 1, presentaron una longevidad similar ya que se establecieron en torno a la década de 1820 hasta 2011 (2012).

Observando la Figura 3.9, podemos ver como las cronologías de ancho de los anillos fue variando en función de los años y del número de series. Por ejemplo, para la cronología de la parcela SCH 1, uno de los mayores índices de crecimiento se encontró en el año 1880, pero fueron pocos los tarugos (número de series) que alcanzaron esa década (menos de 3 tarugos).

A su vez al comienzo de la cronología es donde mayor variabilidad presenta esta parcela debido al bajo número de series que acompañan estos primeros años del índice. Posterior a esa década se observa un decaimiento sostenido en el crecimiento hasta 1910, fecha en la cual, hay un leve aumento del índice de ancho de anillo que varió en torno a la media hasta 1935. Desde esta fecha (1935) hasta el período de 1948, el índice de ancho de anillo se encontró por debajo de la media. A l igual que el periodo comprendido entre 1970 y 1990. A partir de 1990 hasta 2010 se observó un fuerte salto en el índice de ancho de anillo donde, se encontraron las mayores tasas de crecimiento de la cronología. Este período estuvo acompañado por un alto número de muestras. Es a partir del año 1935, donde la cronología cuenta con un número de series bien representada ($N > 10$). Con respecto a la cronología de la parcela SCH 2, presenta los mayores índices entre 1820 y 1880, pero el número de series que conforman el índice para este período de tiempo es bajo, por lo que también es de esperar que sea normal la gran variabilidad en el crecimiento en el tiempo considerado. Desde 1880 a 1930 el índice de ancho de anillos circunda en torno a la media, y el número de series que conforman dicho índice es representativo ($N > 10$). A partir de 1930 hasta fines de la década de 1990, el índice se encuentra por debajo de la media y hay a su vez un aumento en el número de series que conforman dicho índice ($N > 20$). A finales de la serie se denota un aumento en el crecimiento y se cuenta con la totalidad de las series establecidas.

Si consideramos ahora las parcelas del Valle Río Toro, podemos decir que en VRT 1, desde su establecimiento hasta 1854, el índice se encuentra por encima de la media. A su vez en la década de 1840-1850, presenta el mayor índice registrado dentro de la parcela (y entre las tres parcelas), pero son pocas las series que apoyan este valor del índice. A partir de 1854 hasta la década de 1880, el índice se encuentra por debajo de la media. Pasado este año, y hasta 1930, el índice se encuentra en torno a la media. Desde 1930 hasta el año comprendido en la década de 1970, el índice de ancho de anillo para esta parcela, se encuentra por encima de la media, y

cuenta con un número de series confiable ($N > 15$). Posterior a 1970, y hasta 1985, el índice nuevamente se encuentra por debajo de la media, y esta bien representado por el número de series. Desde 1985 a 1995, el índice muestra una tendencia por encima de la media (al igual que en el período considerado desde 2001-2010), mientras que desde 1994-2001, el índice vuelve a encontrarse por debajo de la media.

Con respecto a la parcela de VRT 2, podemos mencionar que el período comprendido entre 1690 y 1840, presenta altos valores en el índice de anillos aunque se encuentran también varias supresiones en el crecimiento, siendo pocos los tarugos barrenados que hayan podido alcanzar esas fechas. En el periodo comprendido entre 1840-1850, también se observa un decaimiento en el crecimiento, coincidiendo con el decaimiento producido en el mismo lapso de tiempo para VRT 1. Pasada la década de 1850, y hasta 1870, hay un aumento en el índice de anillos, período que también acontece para VRT 1. En VRT 2, después de 1940, el crecimiento se estabiliza, hasta la década de 2000. Los individuos presentes en la parcela VRT 2 presentaron un crecimiento promedio más bajo y constante que el resto de las parcelas.

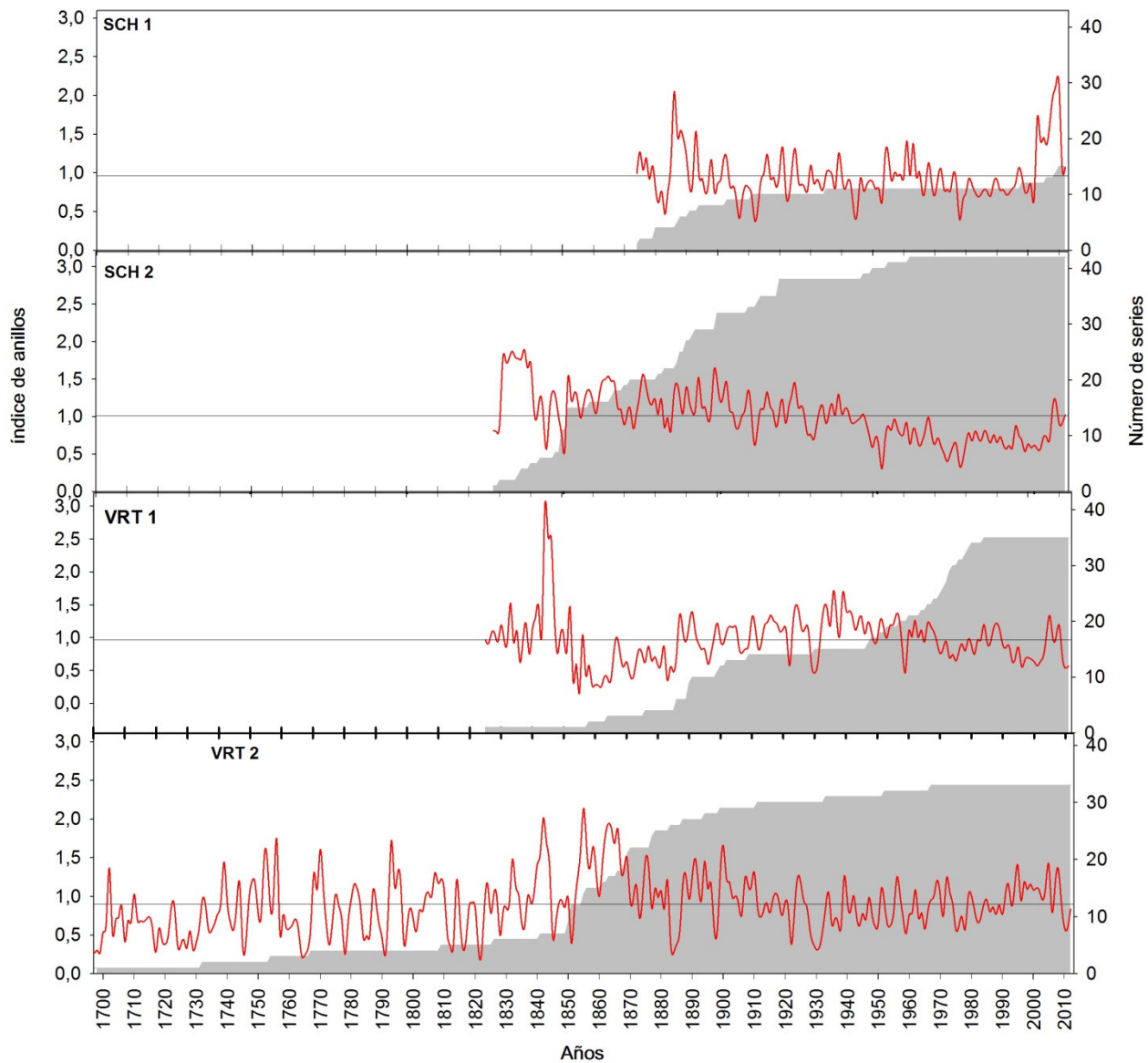


Figura 3.9: Crecimiento radial promedio del ancho de anillos de los individuos vivos de las parcelas en estudio.

Líneas rojas representan el índice de anillos. Área sombreada gris representa el número de series empleadas en la confección del índice de anillo.

4.3 Fechas de mortalidad

La parcela SCH 1 presentó un abanico de fechas de mortalidad comprendidas entre 1982 y 2010. Se determinaron en total doce fechas de mortalidad, de las cuales, seis de ellas (1988, 1994, 2000, 2002, 2003, 2005) presentaron repetición, es decir que más de un individuo muerto

(Tabla 2). Se puede mencionar también que las fechas de mortalidad se concentran en la década del 2000. De esas doce fechas tentativas, diez correspondieron a muestras con la corteza o el último anillo presente (1982, 1988, 1994, 1998, 2000, 2002, 2003, 2005, 2007). En la parcela SCH 2, por su parte, se registró la primera fecha de muerte en el año 1951, correspondiendo a una muestra con la corteza adherida. Las fechas de mortalidad de esta parcela se extienden hasta el 2007. Esta parcela presentó trece fechas de mortalidad, de las cuales cinco de ellas presentaron más de un individuo muerto (1963, 1982, 1987, 1997, 2000), y seis de ellas permanecieron con la corteza o el último anillo color gris (1975, 1982, 1987, 2000, 2001, 2007). Los patrones de mortalidad de los individuos de las parcelas de Salto el Chorrillo (SCH 1 y SCH 2), presentaron cierta similitud, principalmente después de la década del '90. Particularmente, las fechas de mortalidad en ambas parcelas coincidieron en los años 2000 y 2007, siendo ambas fechas altamente probables debido a que las muestras han permanecido con la corteza adherida, y al menos en el año 2000, ambas parcelas presentaron más de un individuo que murió en el mismo año. Probablemente aquellos tarugos que carecían de corteza, están subestimando las fechas de mortalidad indicando alguna fecha anterior y coincidiendo con aquellas fechas que sí han permanecido con la corteza por lo que son fechas exactas. Es decir que en aquellas muestras que perdieron la corteza, van a señalar una fecha de mortalidad errónea, y en el caso de que las hayan mantenido, puede que esta fecha de mortalidad coincida con otra muestra que sí haya mantenido su corteza.

Con respecto a las parcelas del Valle Río Toro, la parcela VRT 1, presentó un intervalo de fechas de mortalidad comprendido entre los años 1951 y 1996, de los cuales solo cuatro de esas fechas presentaron más de un individuo muerto (1967, 1982, 1992, 1996). A su vez siete de las diecisiete fechas de mortalidad, presentaron la corteza o en su defecto una coloración grisácea (1960, 1962, 1965, 1968, 1981, 1982, 1989, 1996). Hay una mayor concentración de mortalidad y más recurrentes en la década de 1960.

En la parcela VRT 2 la franja de mortalidad se extendió desde el año 1937 al 2005. sin embargo la muestra que registró la fecha de mortalidad 1937 no presentó corteza, ni una coloración grisácea, indicando que la fecha de mortalidad es posterior al año 1937.

Esta parcela presentó doce fechas de mortalidad de las cuales diez han permanecido con la corteza adherida (1947, 1955, 1966, 1969, 1970, 1972, 1976, 1977, 1997, 2005), y solo en el año 1969 fue en el que más de un árbol murieron. En esta parcela, las fechas de mortalidad se encuentran concentradas en la década de 1970.

Tabla 2: Fechas de mortalidad de individuos por parcela. Años en negrita indican que más de un individuo murió en esa fecha. Fechas entre paréntesis, han permanecido con la corteza.

PARCELA	FECHAS DE MORTALIDAD
SALTO EL CHORRILLO 1 (SCH 1)	(1982), (1988) , 1989, (1994) , (1998), (2000) , (2002) , (2003) , (2005) ,(2007), 2009, 2010
SALTO EL CHORRILLO 2 (SCH 2)	1951, 1963 , 1965, (1975), 1979, (1982) , (1987) , 1986, 1992, 1997 , (2000) , (2001), (2007).
VALLE RÍO TORO (VRT 1)	1950, 1957, (1960), (1962), 1963 (1965), 1967 , (1968) , 1975, 1977, 1979, (1981), (1982) , (1989), 1992 , 1994, (1996) .
VALLE RÍO TORO (VRT 2)	1937, 1939, (1947), (1955), (1966), (1969) , (1970), (1972), (1976), (1978), (1997), (2005).

4.4 Establecimiento de renovales de *N. pumilio*

El número total de renovales fue altamente variable en los tres de los cuatro sitios de estudio (Figura 3.8). El número de renovales en la parcela del sitio SCH 1 supera ampliamente al resto

de los sitios, teniendo los sitios VRT 1 y VRT2 un número de renovales de similar valor. No se encontraron, por su parte, renovales en el sitio SCH 2.

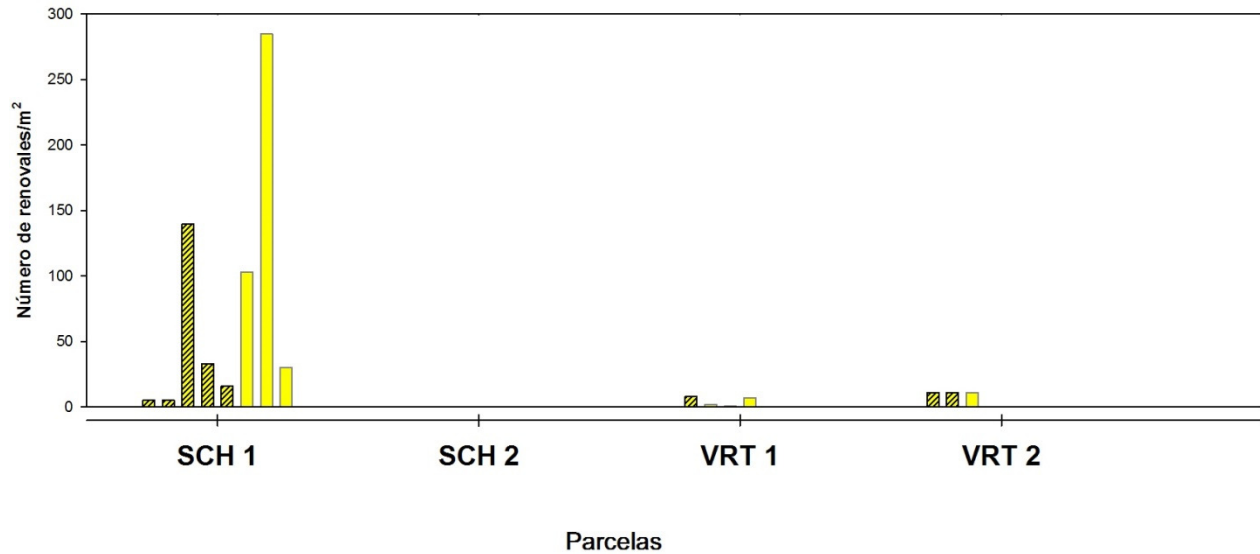


Figura 3.8: Número total individuos con una altura menor a 1,3 m por unidad de superficie (subparcelas) ubicados en las parcelas de renovales para los cuatro sitios de estudio. Barras color amarillo y rayadas representan subparcelas dentro del bosque disturbado. Barras amarillas lisas representan subparcelas del bosque sin disturbar.

La parcela que presentó mayor número de renovales, fue la parcela SCH 1, que a su vez se contabilizaron ocho subparcelas que entre ellas presentaron un rango de edad de 6 a 12 años. Dentro de estas ocho subparcelas, cinco pertenecieron a la región del bosque sin disturbar, mientras que tres de ellas, pertenecieron a la del bosque disturbado. El rango de edad de las subparcelas del área sin disturbar fue de 4 a 12 años y la edad promedio fue de 7,6 años. Mientras que dentro de las subparcelas en el área afectada, la edad varió entre los 3 y 10 años, y el promedio de las mismas fue de 6,7 años. La parcela SCH 2, no presento ningún renoval dentro de sus ocho subparcelas de renovales. La parcela con mayor número de subparcelas de renovales fue la VRT 1 donde se contabilizaron nueve de ellas, de las cuales cuatro estuvieron

dentro del bosque sin disturbar, teniendo un rango etario entre 8 y 32 años, obteniendo un promedio de 26,4 años de edad. Sin embargo, las subparcelas en el área disturbada, fueron cinco, presentando un intervalo de edad entre 7 y 14 años y un promedio de 9,8 años de edad. En la parcela VRT 2, solo se contabilizaron cinco subparcelas de las cuales dos de ellas estaban dentro del bosque sin disturbar, y presentaron un intervalo de 14 a 25 años de edad y un promedio de 19,6 años, mientras que en las tres subparcelas de la región disturbada, todos los renovales tuvieron la misma edad (24 años).

Tabla 3: Número de renovales y fechas de establecimiento. Valores entre paréntesis indican número de renovales a los cuales se les determina la edad en el laboratorio. Área color gris, representa subparcelas en el bosque sin disturbar. Área sin rellenar corresponde aquellas subparcelas en el bosque disturbado.

PARCELA	NÚMERO DE PARCELA DE RENOVALES	NÚMERO DE RENOVALES	EDAD PROMEDIO	EDAD MÁXIMA	EDAD MÍNIMA
SCH 1	1	5 (5)	8,7	12	6
	2	5 (5)	8	10	4
	3	140 (30)	7,3	12	5
	4	33 (30)	6,8	9	5
	5	16 (16)	7,1	9	4
	6	103 (30)	6,3	10	4
	7	285 (30)	6,3	8	3
	8	30 (30)	7,5	10	4
SCH 2	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0
	7	0	0	0	0
	8	0	0	0	0
VRT 1	1	0	0	0	0
	2	8 (8)	18,3	25	8
	3	2(2)	31	32	30
	4	1(1)	30	30	30
	5	7(7)	9,8	14	7
	6	0	0	0	0
	7	0	0	0	0
	8	0(0)	(0)	0	0
	9	0	0	0	0
VRT 2	1	11(11)	18,1	25	9
	2	11(11)	20,2	24	14

	3	11(11)	24	24	24
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0

4.5 Análisis de los patrones en crecimiento radial

El 92 % de los individuos de la parcela SCH 1 presentó algún tipo de liberación (ya sea del 25% o del 50 %), mientras que el 72 % presentó liberaciones del 50% (Figura 3.10a). Las liberaciones correspondientes al 25% fueron más comunes o más frecuentes en dos intervalos diferentes, comprendidos entre 1945-1970 y 1980-2007 (a su vez, fue más común encontrar liberaciones del 25% que del 50% a lo largo de toda la serie analizada). Además las liberaciones del 25%, presentaron mayor número de individuos por año en que se presentó una liberación. Por otro lado, las liberaciones del 50%, se concentran en la década de 1990 (coincidiendo con el segundo intervalo de las liberaciones del 25%; Figura 3.10a). El aumento del 25%, en el crecimiento radial de los individuos de la parcela SCH 1, y que a su vez se mantuviera constante por tres o más años se marcó por primera vez en el 1886 hasta 1888 con un porcentaje de 25% mientras que las producidas por el 50% se sucedieron entre los años 1836 y 1840, obteniendo un incremento del 77% (Figura 3.10a).

El aumento sostenido en el crecimiento radial más duradero (con un 25%), se produjo alrededor del 1913-1921, es decir por un lapso de tiempo de 9 años generando un porcentaje de incremento del 159 % (este porcentaje de incremento, también es considerado como una liberación mayor; Figura 3.10a) Con este mismo porcentaje de liberación, en el año donde se encontró un individuo con mayor tasa de crecimiento fue entre 1997 y 1999, con un 300% de crecimiento. Si consideramos un 50% en el aumento en el crecimiento, tenemos que el sostenimiento más duradero se mantuvo por 7 años entre 1967 y 1973, obteniendo un 142% de incremento, y donde mayor fue la liberación en el crecimiento fue en el mismo intervalo de tiempo que para las liberaciones del 25%, es decir entre 1997 y 1999, obteniendo el mismo porcentaje de incremento.

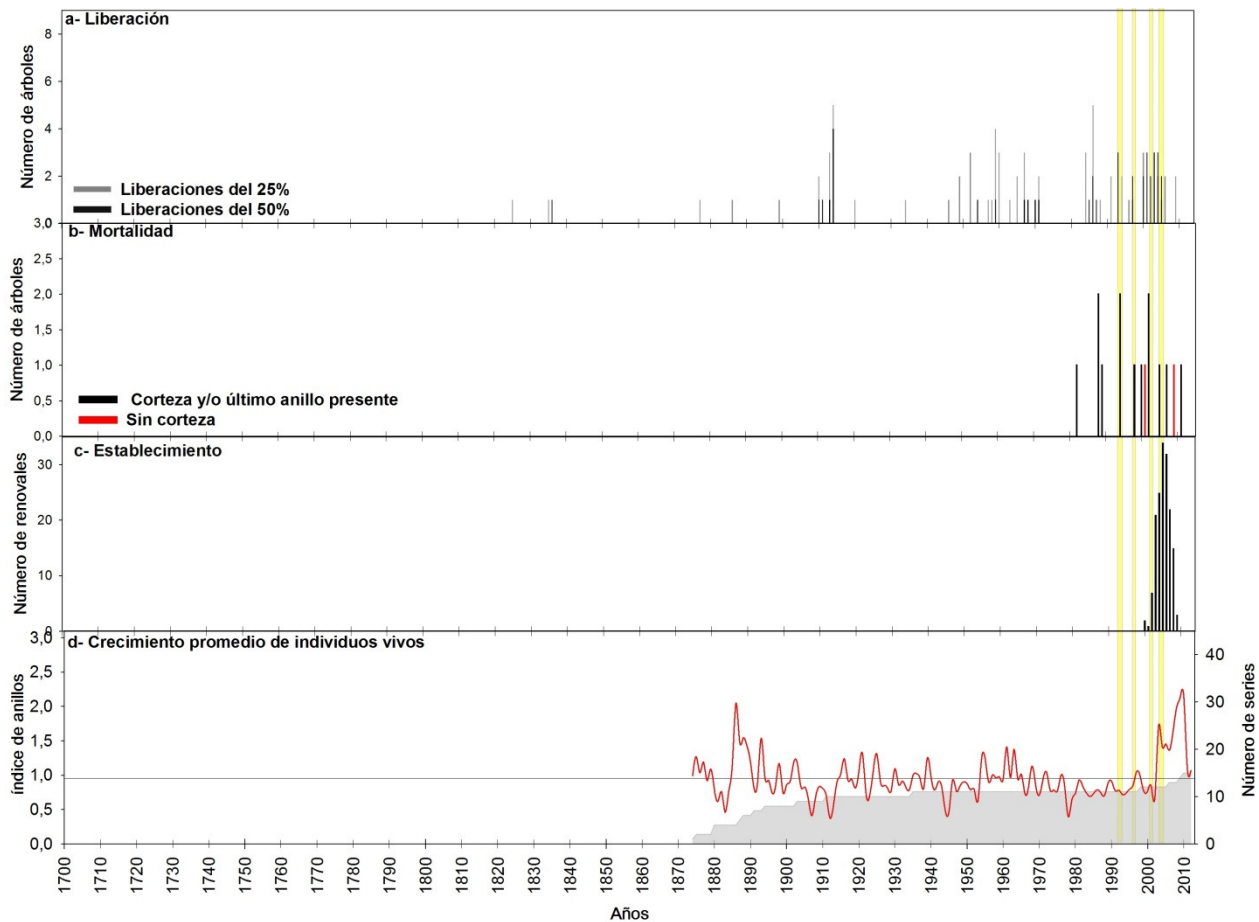


Figura 3.10: Relación entre: a) distribución de frecuencias (número de árboles/año) de liberaciones en el crecimiento radial de individuos de la parcela SCH 1 (color gris, corresponden a las del 25%; color negro, a las del 50%) b) frecuencias de mortalidad (negro árboles que mantuvieron su corteza; rojo, individuos que carecían de corteza) c) frecuencia de establecimiento d) crecimiento anual promedio de individuos vivos. Área gris representa el número de serie empleado para realizar el índice de anillos. Barras verticales color amarillas indican eventos de volteo por viento.

El análisis de los patrones de liberación correspondiente a la parcela SCH 2 determinó que el 91 %, presentó algún tipo de liberación, mientras que el 75% de las muestras presentaron liberaciones del 50 %, solo el 75% presentó algún tipo de incremento. En la parcela SCH 2, no hay una clara agrupación o concentración definida de liberación (ni del 25% ni del 50%), aunque se podría considerar que hay una leve agrupación de ambos tipos a partir de 1980. Sí se encuentra que mayor es la proporción de individuos con liberaciones del 25% a lo largo de toda la serie graficada (Figura 3.11a). El aumento del 25%, en el crecimiento radial de los individuos de la parcela SCH 2, y que se mantuvo constante por tres o más años, se marcó por

primera vez en el 1852 al 1857 con un porcentaje de 150%, mientras que la primera liberación producidas del 50% se marcó en el año 1852 al 1856, obteniendo un incremento del 155% (Figura 3.11a).

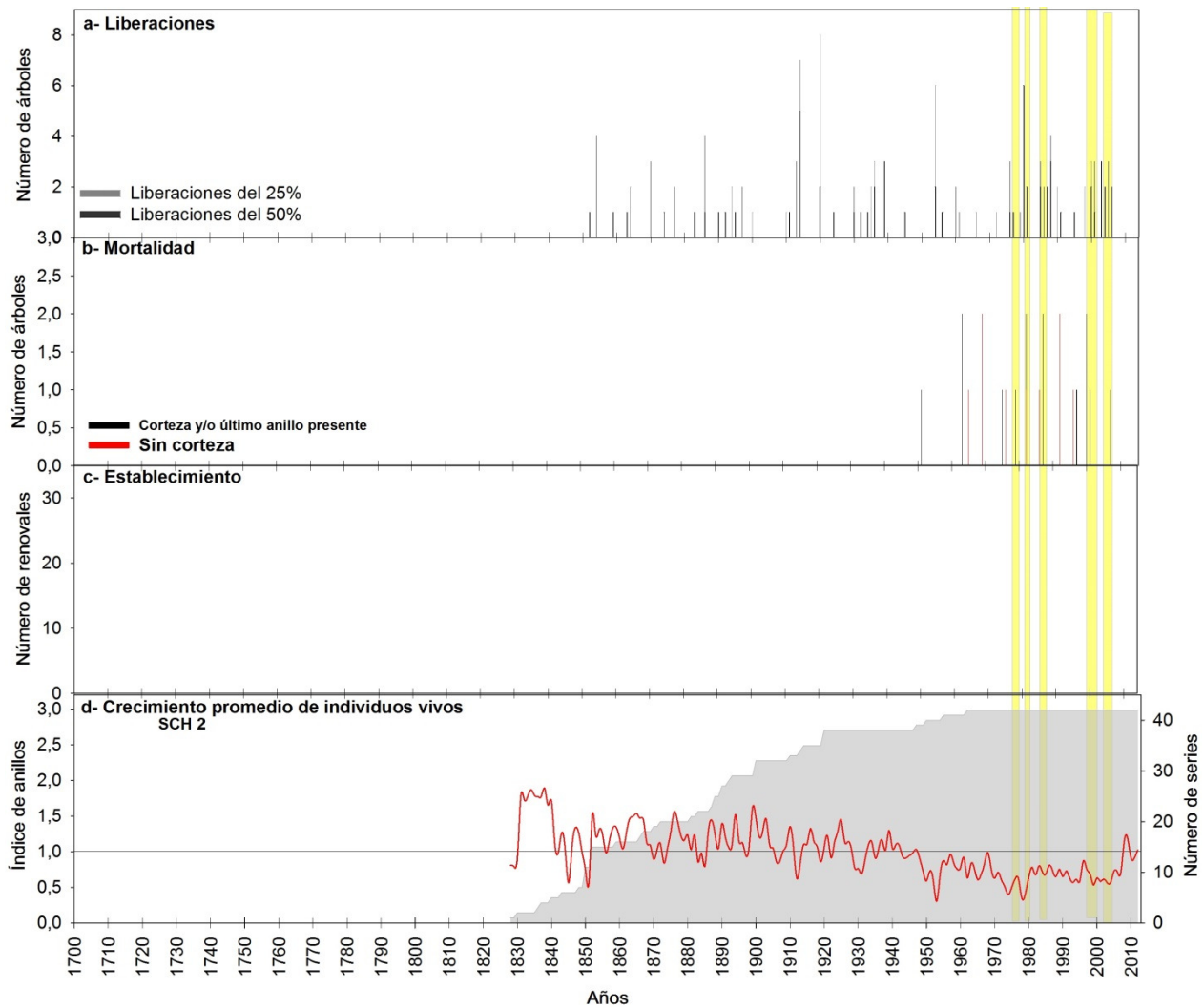


Figura 3.11: Relación entre: a) distribución de frecuencias (número de árboles/año) de liberaciones en el crecimiento radial de individuos de la parcela SCH 2 (color gris, corresponden a las del 25%; color negro, a las del 50%) b) frecuencias de mortalidad (negro árboles que mantuvieron su corteza; rojo, individuos que carecían de corteza) c) frecuencia de establecimiento d) crecimiento anual promedio de individuos vivos. Área sombreada gris, representa el número de series empleado para la construcción del índice de anillos. Barras verticales color amarillas indican eventos de voltes por viento.

El 84 % de los individuos de la parcela VRT 1 presentó algún tipo de liberación, mientras que el 65% presentó liberaciones del 50%. En esta parcela, fueron más comunes los incremento del

25%, que las del 50%, y en ambas se notó que hay una cierta agrupación en torno a la década de 1980.

El aumento del 25%, en el crecimiento radial de los individuos de la parcela VRT 1, y que se mantuviera constante por tres o más años se marcó por primera vez en el 1840 hasta 1842 con un porcentaje de 100%, mientras que las producidas por el 50% se marcó también en el año 1840 al 1842, obteniendo un incremento del 121% (Figura 3.12a).

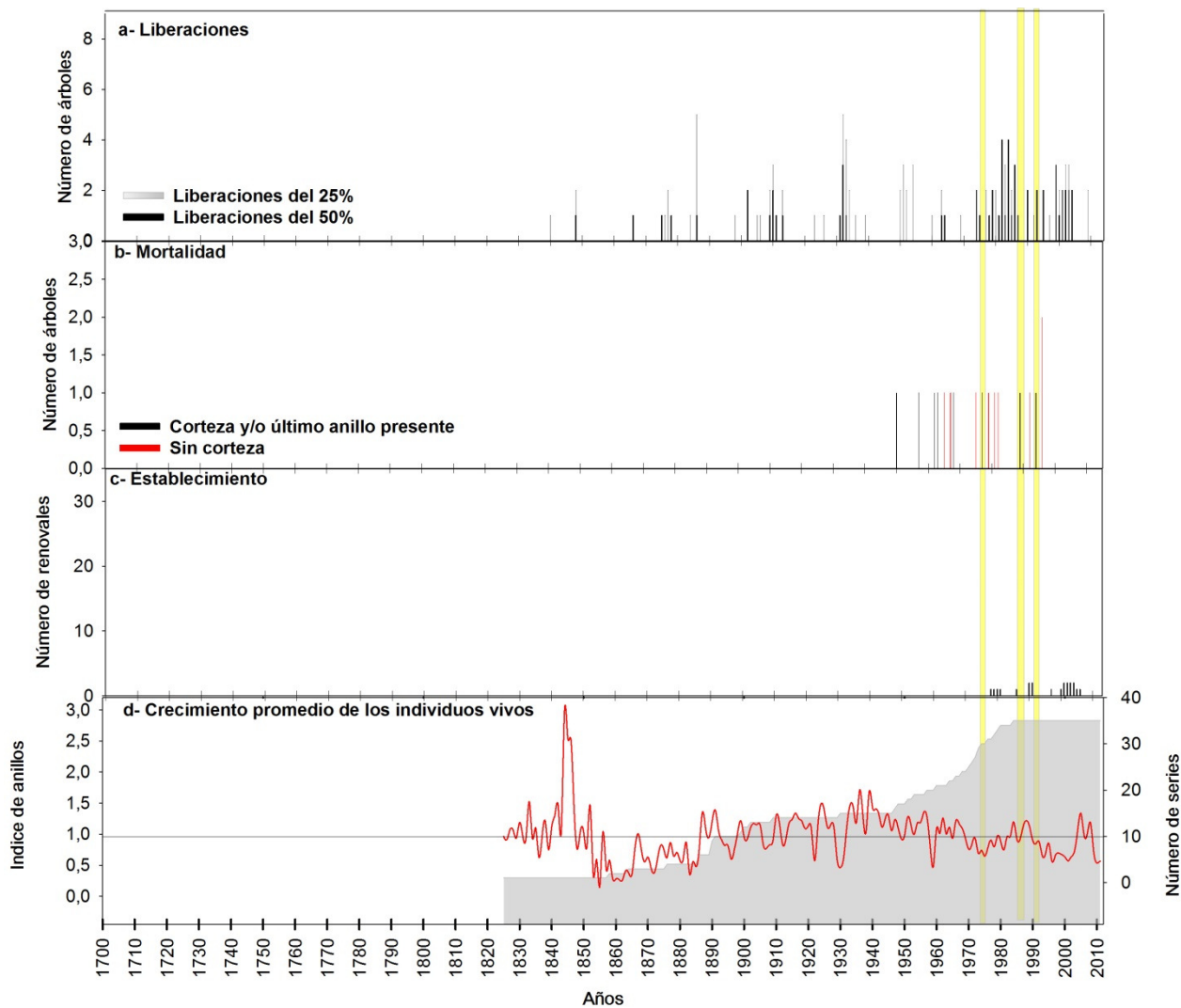


Figura 3.12: Relación entre: a) distribución de frecuencias número de árboles/año de liberaciones en el crecimiento radial de individuos de la parcela VRT 1 (color gris, corresponden a las del 25%; color negro, a las del 50%) b) frecuencias de mortalidad (negro árboles que mantuvieron su corteza; rojo, individuos que carecían de corteza) c) frecuencia de establecimiento d) crecimiento anual promedio de individuos vivos. Área sombreada gris, representa el

número de series empleado para la construcción del índice de anillos. Barras verticales color amarillas indican eventos de volteos por viento.

El 91% de los individuos de VRT 2 presentó algún tipo de liberación, mientras que solo el 69% presentó una liberación superior al 50%. Con respecto a esta parcela, y al igual que en las otras, hubo una mayor proporción de individuos que presentaron incrementos del 25%, y en el caso de la parcela VRT 2, hay una agrupación en el crecimiento del 25% a partir de la década de 1930/1940 mientras que si nos referimos a las liberaciones del 50%, hubo una agrupación a partir de 1980. El aumento del 25%, en el crecimiento radial de los individuos de la parcela VRT 2, y que se mantuviera constante por tres o más años se marcó por primera vez en el 1737 (con solo un individuo) con un porcentaje de 57% mientras que las producidas por el 50% se marcó por primera vez en el año 1759, obteniendo un incremento del 117% (Figura 3.10a).

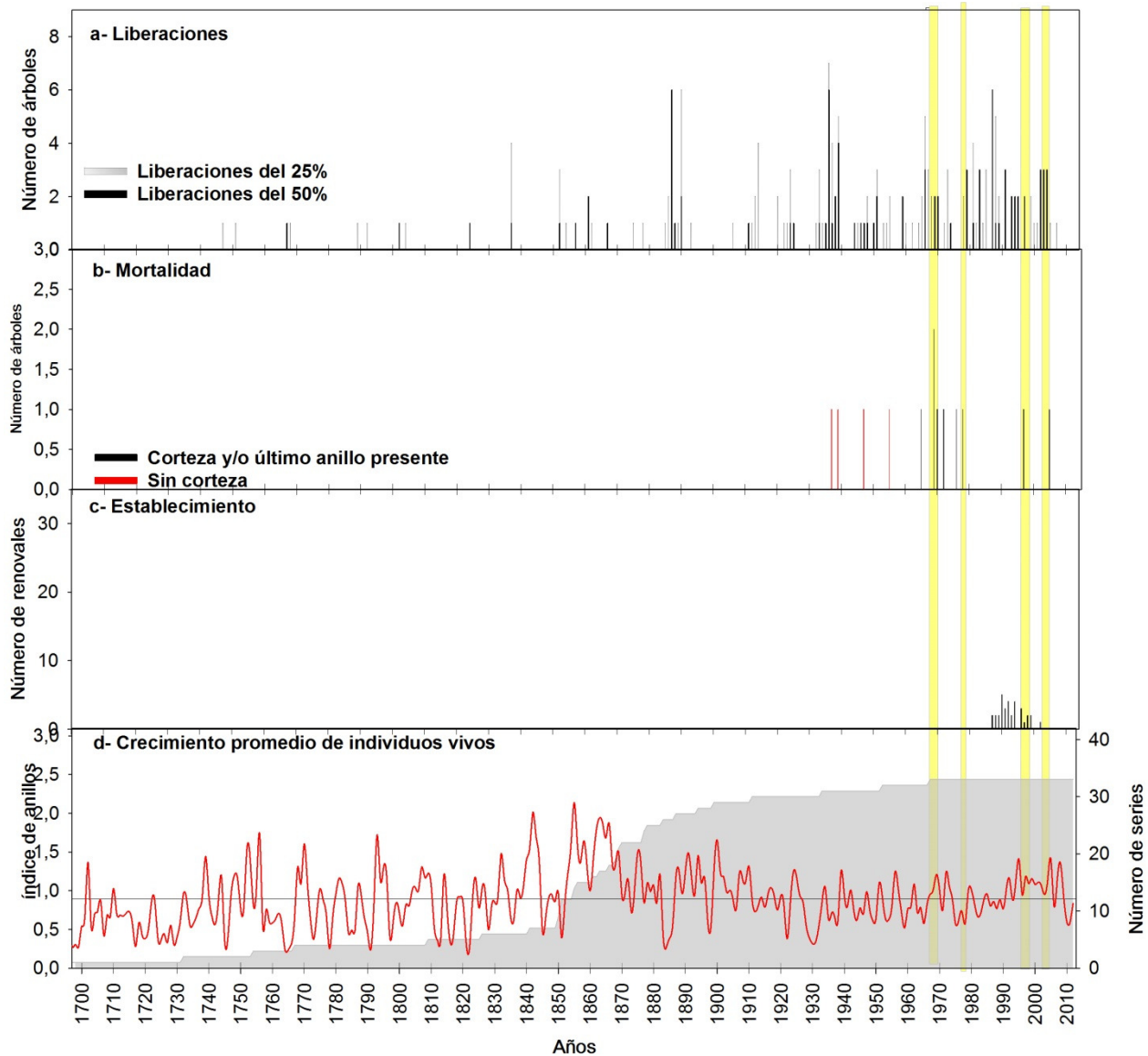


Figura 3.13: Relación entre: a) distribución de frecuencias (número de árboles/año) de liberaciones en el crecimiento radial de individuos de la parcela VRT 2 (color gris, corresponden a las del 25%; color negro, a las del 50%) b) frecuencias de mortalidad (negro árboles que mantuvieron su corteza; rojo, individuos que carecían de corteza) c) frecuencia de establecimiento d) crecimiento anual promedio de individuos vivos. Área sombreada gris, representa el número de series empleado para la construcción del índice de anillos. Franjas verticales color amarillas indican eventos de volteos por viento.

4.6 Determinación de eventos de volteo por viento

La parcela SCH 1, presentó cuatro eventos de volteos por viento, empezando en el año 1994 y el último fue en el período de 2005/2007 (Figura 3.10). Tales eventos (al igual que el resto de

las parcelas) fueron marcados en base a la presencia de eventos de mortalidad en árboles muertos que hayan permanecido con la corteza adherida o el último anillo presente, la presencia de establecimiento de renovales y/o liberaciones del 50% en más de un individuo. Los otros eventos de volteos por viento de SCH 1 se presentaron en los años 1998 y 2002. Es posible también que en aquellos individuos muertos que no permanecieron con su corteza adherida, puedan haber muerto dentro de ese lapso de tiempo, y reforzar aún más que un evento de viento sucedió en ese período. Se puede decir entonces que para la parcela SCH 1, los eventos se han ido subsiguendo en intervalos de cuatro años aproximadamente.

El establecimiento de los renovales (6-12 años atrás) reafirma que tras los eventos sucedidos, se han liberado ciertos recursos para el establecimiento de los mismos, de igual forma sucede con las liberaciones subsecuentes a los volteos por viento. A su vez las fechas de mortalidad (1994,2000/2005) apoyan la fecha estimada para estos volteos. Se puede ver entonces, que hay una concordancia entre las liberaciones sucedidas (25% y 50%), con el establecimiento de las subparcelas de renovales entre 1980 y 1990, y estas variables se vinculan a las fechas de mortalidades producidas en la década de 1990 (Figura 3.10a; 3.10b, 3.10c). Posterior a la década del 2000, las variables de establecimiento de plántulas, liberaciones (del 25% y 50%), y mortalidad, parecen estar vinculadas unas con otras, y a su vez, el crecimiento promedio anual (índice de anillo), aumenta para ese mismo período, con la totalidad del número de series vivas recolectadas en esa parcela (Figura 3.10d) aludiendo a un evento de volteo.

Por otro lado en la parcela SCH 2, los eventos de volteos por viento comenzaron en el año 1979, y se extendieron hasta el 2007, concordando con el último evento de SCH 1, determinándose a su vez también eventos para los años 1982, 1987 y 2000/2002 (período que también coincide con SCH 1) . En esta parcela los eventos se produjeron con una tasa de recurrencia promedio de siete años. Al no poseer renovales (por la densidad del sotobosque), los eventos se basaron en las fechas de mortalidad y las liberaciones del 50%. Las fechas de

mortalidad (1982, 1987, 2000) y las liberaciones (50%) sostenidas en más de un individuo, apoyan las fechas citadas como factibles eventos de volteos. Se ve que hay una relación entre las fechas de mortalidad sucedidas después de la década de 1970, y las concentraciones de las liberaciones anteriormente mencionadas.

En la parcela VRT 1 del Valle Río Toro, se determinaron, cuatro eventos de volteos por viento (Figura 3.12), en los cuales el primero se produjo en el período 1977/1978 mientras que el último fue estimado en el año 1994. Esta parcela, a su vez, presentó otros eventos de volteos en los años, 1982, 1989, es decir que presentó una tasa de recurrencia promedio de 6,5 años aproximadamente. Hay una relación entre las fechas de mortalidad sucedidas en la década de 1970, y las liberaciones posteriores a esa fecha, ya que hay una gran concentración de liberaciones (del 25% y 50%), y a su vez también encontramos establecimiento de plántulas después de tales eventos de mortalidad. La relación entre las fechas de establecimiento promedio de los renovales (8-32 años), las fechas de mortalidad y las liberaciones del 50%, determinaron las fechas escogidas de volteos por viento.

En la parcela VRT 2, se produjeron cuatro eventos (Figura 3.13), de los cuales, el primero se produjo en el año 1972, mientras que el último fue en el año 2004. Los otros eventos tuvieron lugar en el período de 1977/1978 y en el año 1997, es decir que presentó una frecuencia del evento de 10,7 años. El establecimiento de los renovales dentro de las parcelas, comenzaron en el año 1988 en la cual dos renovales se establecieron. En esta parcela, también se asociaron y se encontraron similitudes en cuanto a las fechas de establecimiento, fechas de mortalidad y liberaciones para poder objetar un evento de volteo. El evento de 1972, se consideró como evento ya que en tal año se produjeron dos muertes, y las liberaciones asociadas posteriores fueron relevantes. Del mismo modo los eventos subsiguientes fueron enmarcados en función de las variables mencionadas.

5. Discusión

La reconstrucción de volteos por viento presentada en esta tesina fue desarrollada en base a una serie de cronologías de ancho de anillos de *N. pumilio* en la región de El Chaltén, Santa Cruz. En la misma se reconstruyó la historia de volteos por viento en los bosques de la región, para el período 1700-2012. Durante el período analizado se registraron una suma de 17 volteos, de los cuales 7 se presentaron en el Valle Río Toro, y 10 en el Valle Río de las Vueltas.

Tales eventos, tienen un rango anual desde el 1970 al 2007, y en líneas generales se agrupan en los últimos 15 años. Si bien se han registrado liberaciones con anterioridad, y una de ellas bien marcada, como en los años 1887/1888, 1913/1914, al no poseer signos de establecimientos, en esta tesina, no fueron considerados como eventuales procesos de volteos. Por otro lado tampoco se evidenciaron para esas fechas eventos de mortalidad.

Con respecto a la reconstrucción de los volteos por viento, en las parcelas de Salto El Chorrillo, se produjeron en los años 1979, 1982, 1987, 1994, 1998, 2000, 2002, 2005, 2007, mientras que en las parcelas de Valle Río Toro, fueron en los años, 1972, 1977/1978, 1982, 1989, 1994, 1997, 2004. Es decir que el año 1982, 1994, se produjeron eventos de mortalidad en los dos valles.

Si nos referimos a la parcela de SCH 1, en ella se produjo un evento en la década de 1990, que se consideró que produjo la abertura del claro, y los eventos subsiguientes han sido de menor intensidad, pero han facilitado (junto al primer evento), el desarrollo de las plántulas de la parcela, como así también el incremento en el crecimiento de los árboles remanentes. Se considera este evento de mayor importancia porque cuenta con la mayor tasa de muerte, y grandes aumentos en el crecimiento asociados.

En consideración de la parcela SCH 2, el evento que ocasionó el claro en SCH 1, parece no haber afectado a SCH 2, ya que no se registraron eventos de mortalidad en esa fecha. Probablemente a diferencias de las condiciones edafológicas y/o biológicas de esta segunda parcela. Sin embargo al no haber renovales es aún más difícil delimitar con exactitud una fecha de volteo por viento, pero por el tipo y el número de liberaciones (del 50%) se considera que el evento de 1970, fue la más importante dentro de esta parcela.

En función de lo sucedido en VRT 1, si bien en su mayoría se cuenta con una fecha mortalidad, si estas se relacionan con la ocurrencia de las liberaciones, se puede decir que el evento de volteo más importante se produjo en la década de 1970, ya que los eventos de liberación (del 25% y 50%) son relevantes pasada esa fecha. En torno a la parcela de VRT 2, es posible que en la década de 1960 se haya producido un evento de mayor intensidad, ya que en esa fecha y en las delimitaciones de la parcela, se produjeron dos mortalidades (mayor número de individuos para esta parcela). Pasada esta fecha, la ocurrencia de liberaciones del (25% y 50%) fueron más frecuentes y en una mayor cantidad de individuos. Es posible que los eventos subsiguientes hayan sido de menor intensidad, pero han influenciado tanto el establecimiento de renovales y como los cambios en el crecimiento.

En función de las fechas de los volteos, pareciera que el efecto del viento (en función de magnitud, frecuencia y/o periodicidad) no causa los mismos efectos en ambos valles, quizás se deba a la topografía del lugar, a las condiciones edáficas, o a las mismas características propias del bosque. Es decir que el impacto de los volteos va a estar en función de las características biológicas del bosque (composición del rodal, estructura, tamaño, vigor, entre otros), y de las características abióticas (severidad, propiedades del suelo, topografía). Harris para bosques de Nueva Zelanda, propone que el grado de saturación del suelo es influyente en los volteos por viento en los bosques de la región (Harris 1989).

Sin embargo pareciera que los eventos de volteos por viento del período 2000/2002 y 2005/2007, fue el mismo para las parcelas del Chorrillo, mientras que los volteos producidos en el período de 1977/1978, fue el mismo para las parcelas del Valle Río Toro.

Estos resultados representan los primeros antecedentes sobre la estructura de bosques de *N. pumilio* bajo el efecto de volteos por viento en los valles mencionados, por lo que es un tema de importancia para seguir investigando la respuesta de los bosques patagónicos frente a los diferentes disturbios, y en especial al viento, que es un agente de disturbio que no ha recibido suficiente atención. Los resultados obtenidos abren una interesante línea de investigación en torno a la dinámica de estos bosques versus el disturbio de volteos por viento.

En una primera instancia, en este trabajo se estudió la distribución espacial de los individuos vivos y muertos, dentro de las cuatro parcelas, y a su vez, como era su distribución diamétrica en las mismas (Figura 3.1 y 3.2). Esto es importante debido a que me revela como es la estructura del bosque post disturbio ya que se encontraron ejemplares muertos en este bosque, como así también individuos vivos dentro del bosque disturbado.

La distribución espacial, como modelo de paisaje de los dos valles se asemejan a las encontradas por Puigdefábregas y su equipo en la Bahía Buen Suceso (Tierra del Fuego), el sentido de que las bandas de mortalidad encontradas en los valles estudiados de Río Toro y Río de las Vueltas se disponen paralelas entre sí, y se encuentran a su vez de forma perpendicular a los vientos predominantes (Puigdefábregas et al. 1999). A su vez en los faldeos del Valle Río Toro, se encontraban 7 ondas más que se disponían paralelas entre ellas, detonando la caracterización de Gonzáles, en torno a las ondas de mortalidad para los bosques templados de Argentina y Chile (Gonzales et al. en prensa).

En todas las variables estructurales de las parcelas, (diámetro, altura y edad de los individuos vivos) en lo que respecta a la VRT 1 se encontraron diferencias significativas entre el bosque disturbado, y el bosque sin disturbar. En el resto de las parcelas (SCH 1, SCH 2 y VRT 2), no se

encontraron diferencias estadísticas significativas entre tales variables estructurales del bosque disturbado y el bosque sin disturbar. Posiblemente, estas diferencias radiquen en que la parcela de VRT 1 fue la que presentó menor cantidad de eventos de volteos por viento. A su vez la magnitud (severidad e intensidad) de las tormentas de viento en esta parcela, puede haber influenciado también en estos resultados (comparando el tipo de mortalidad denota diferencias que los eventos de viento fueron diferentes) (Figura 3.7), y hasta las variables edafológicas y biológicas pueden haber influenciado en tales diferencias. Hasta las condiciones topográficas, pueden alterar la velocidad del viento produciendo fenómenos diferentes en el dosel del bosque (Everham y Brokaw 1996). El hecho de que la longitud de las parcelas no eran la misma (y por ende el número de individuos presentes y la altura), se estableció que también es producto de las diferencias encontradas. Se considera que en la parcela VRT 1, tuvo menor cantidad de volteos debido a que fue la parcela que en términos de altura fue la menor, y si esto lo relacionamos con el supuesto de Rebertus et al. (1997) de que ellos consideraban que los árboles al pasar un umbral de altura eran más propensos a ser volteados, se puede decir que los ejemplares de VRT 1, no habrían alcanzado el umbral. En torno a esto, en estudios de Nueva Zelanda (Jane 1986) relevando la vulnerabilidad de los vientos a un bosque de *Nothofagus solandri*, se encontró una relación de una mayor predisposición a la mortalidad por volteos por viento cuando los individuos exceden los 100-130 años de edad (que en general, según Jane tienen 20-50 cm de DAP, y una altura de 12m). En comparación con VRT 2 los ejemplares del bosque disturbado tuvieron una altura mayor a la de VRT 1, por lo que se consideró que tuvo mayor cantidad de volteos, sin embargo el umbral de altura no es el mismo que el propuesto por June (June 1986). Es interesante rescatar lo que plantea Everham y Brokaw, en el sentido que no hay una consistencia en la literatura internacional en cuanto a que posición es más propenso las perturbaciones por viento, debido a que este disturbio en general es un fenómeno localizado (Everham y Brokaw 1996).

En ambientes como el de nuestra zona de estudio, el tronco o partes de él que han muerto pueden permanecer inalterados por algún lapso de tiempo, pero la pérdida de corteza y la erosión de los anillos más externos del fuste, como plantea Suarez en su tesis doctoral (2009, trabajando en Patagonia Norte, y con Coihue), es un proceso común que se presenta desde el momento que muere el árbol. La pérdida del último anillo puede determinar imprecisiones en el fechado de estos individuos, por lo que no se recomienda trabajar con muestras que presenten un grado avanzado de pudrición, y es recomendable a su vez tomar nota de las características de la corteza y trabajarlos en forma separada y teniendo así fechas de mortalidad con diferente grado de exactitud siendo los más precisos los que presenten corteza (o la coloración grisácea indicando que el último anillo se encuentra presente; Kitzberger et al. 2002; Suarez 2009).

Si relacionamos las figuras 3.1 y 3.2 (distribución espacial de los individuos vivos y muertos) con la figura 3.7 (modo de volteo), podemos pensar que el impacto que estos vientos producen en los bosques de *N. pumilio* varía en función de la magnitud (severidad e intensidad), que tan frecuentes ocurren y cuál es el área afectada. Es decir que los tipos de mortalidad podrían estar relacionados a la severidad e intensidad de los mismos. Rebertus et al. (1997) también propone que las condiciones edáficas del suelo puedan inferir en la mortalidad tras este disturbio. Sin embargo las apreciaciones de Rebertus et al. (1997), no fueron parte de los objetivos de esta tesina, pero proporciona nuevas alternativas de ser evaluadas y estudiadas para comprender este tipo de disturbio. A su vez la forma de modelación de paisaje, es decir los tipos de mortalidad versus disturbio, puede estar relacionada en una interacción de disturbios sucesivos, es decir a más de un disturbio. Por ejemplo en las inmediaciones de las parcelas de estudio (de Río Toro), se evidenció la presencia de avalanchas de nieve, denotando en su mayoría árboles partidos, y desarraigados además si estas avalanchas vienen acompañadas de fuertes vientos, pueden provocarse mayores claros, para la liberación de los recursos y el establecimiento de los suprimidos y/o renovales (Nowacki y Kramer 1998). Otra

diferencia que se puede inferir con respecto a la diferencia de volteos por viento y volteos por avalancha, es que en este segundo disturbio, se produce una acumulación de flujo de detritos y de partes de árboles al pie del valle en donde se produjo el suceso.

Debido al avance de pudrición del tronco, el tipo de mortalidad estaría relacionado al grado de putrefacción de los mismos, ya que aumentaría la susceptibilidad a los volteos por vientos.

Además si nos referimos a procesos de estrés, podemos decir que Palacios (2013), encontró un ataque de cuncuna (*Ormiscodes amphimone*) en el año 2003 (entre otros), para la zona de Salto el Chorrillo, por lo que tal ataque puede estar vinculado a la susceptibilidad a los volteos por viento sucedido en ese período de tiempo ya que se considera la posibilidad de que el post ataque del patógeno, el árbol se vea más propenso a ser volteado (vulnerable). Por ejemplo se puede esperar el bosque quede desfoliado por lo que frenaría menos el viento, y las ráfagas serían más fuerte. Vale destacar también que una ráfaga de viento que no resulte riesgosa, para un árbol de buenas condiciones sanitarias, puede que sea suficiente para partir y/o voltear a un árbol con elevado avance o grado de pudrición de su tronco (Hennon 1995).

Sin embargo, los mismos árboles pueden funcionar como una cortina de viento, en el sentido que los árboles frentistas, pueden frenar las ráfagas de viento siempre que la magnitud e intensidad del viento lo permita (Rebertus y Veblen 1993), por lo que el grado de avance del disturbio sería menor.

Si bien en los bosques de *N. pumilio* es común ver un banco de plántulas asociado a un bosque no intervenido, Bava et al. (1999), propone una relación de 5 renovales/m². En estudios realizados en la provincia de Tierra del Fuego, se encontraron 19 renovales/m² en promedio (Bava et al. 1999). Sin embargo, en nuestro en la parcela de SCH 2, no se encontró ningún renoval, debido a que en la zona donde se estableció la parcela, el sotobosque era muy denso, por lo que no habría permitido el establecimiento de las plántulas (Figura 3.8). No se encontraron las mismas características del sotobosque en la parcela de SCH 1, pero sí se

observaron las mismas especies en ambas parcelas. En este trabajo se recolectó un total de 217 renovales, sin embargo había una presencia de 668 renovales, denotando el poder de regeneración de un bosque por parte de las plántulas.

Es interesante poder abordar en futuras investigaciones porque se encuentran incrementos en el crecimiento de los individuos en épocas tempranas de las series analizadas, quizás se deba a eventos pasados de otros disturbios, pero el foco de esta tesis fue atender exclusivamente a los volteos por viento. Con respecto a las liberaciones más recientes, se generan inmediatamente después de los volteos por viento, o por la mortalidad individual de algún individuo, ya que libera ciertos recursos que son aprovechados por los árboles remanentes, que expresan en el grosor del ancho de sus anillos, tal aumento de la oferta de los recursos como el agua, la luz, los nutrientes, el espacio físico de crecimiento, entre otros (Foster y Boose 1992).

La estructura de nuestro bosque, presentó diferentes clases de edades debido a la incidencia de eventos de disturbios simultáneos, por lo que cada clase de edad, va a estar determinada por el momento en que se produce el evento de volteo y el tiempo que transcurre para establecerse cada nueva clase post disturbio. Posterior a un volteo es común observar diferencias en las edades de los árboles debido a que se ha ido poniendo a disposición diferentes recursos que antes eran limitantes. Sin embargo, a diferencia a lo relevado por Rebertus en Tierra del Fuego, él encontró que no se produjeron ondas de mortalidad, sino que el volteo fue masivo, por lo que no encontró diferencias en las edades (Rebertus 1999).

Nuestros resultados coinciden con lo propuesto por Suarez (2009), en el sentido de que los eventos de mortalidad en el dosel del bosque juegan un rol fundamental en la dinámica del mismo, determinando su estructura, e influenciando las oportunidades de establecimiento y supervivencia de plántulas y renuevos de las especies arbóreas post eventos (Suarez 2009). Particularmente para especies poco tolerantes a la sombra, como es el caso de nuestra especie de estudio, las aperturas generadas en el dosel, implican la liberación en recursos necesarios

(luz, agua, nutrientes) que antes eran limitantes, para el establecimiento y crecimiento de un nuevo individuo, generando pulsos de aumento en el crecimiento radial (Lorimer y Frelich 1989; Veblen et al. 1991; Nowacki y Abrams 1997).

Es importante destacar que a pesar que la luz y el agua puedan resultar recursos limitantes para la dinámica de la especie, no es condición necesaria de que un aumento en la incidencia de luz produzca nuevos establecimientos o pulsos de crecimiento ya que las condiciones del entorno puede no ser favorables edáficas y climáticas (Boyden et al. 2005; Brown y Wu 2005) limitando estos procesos.

La periodicidad de ocurrencia de las ondas de mortalidad, es decir de los eventos de viento que les dan origen, ha sido estimada en diferentes estudios para lugares y especies distintas. Por su parte Ogden et al. (1985) determinaron un periodo de rotación para claros (onda) en alrededor de 360 años, para un bosque subalpino en Nueva Zelanda. Puigdefábregas y su equipo estudiando bosques *Nothofagus betuloides* en Tierra del Fuego, Argentina, concluyeron que la regeneración de claros (parche) es de 147 años (Puigdefábregas et al. 1999). Si bien no calcularon el grado de ocurrencia de claros (Rebertus y Veblen 1993), estimaron el grado de avance del disturbio por volteos por viento en bosques de *N. pumilio* en Tierra del Fuego, en un intervalo menor a los 15 años.

El estudio realizado para esta tesina tiene gran relevancia científica ya que es el primero en estudiar la dinámica de *N. pumilio* frente a los volteos por viento en la provincia de Santa Cruz. Además se atiende a los vientos como disturbio, destacando su importancia como modelador de paisajes, ya que extensa es la bibliografía que atiende otros disturbios frente a las masas forestales (por ejemplo; Suarez et al 2009; Mundo 2011).

Una particularidad de los resultados obtenidos de esta tesina fue que en las cuatro parcelas relevadas se encontraron importantes periodos de liberaciones en el crecimiento años antes de

los eventos de volteos anteriormente descritos. Como los objetivos de esta tesina fueron exclusivamente en torno al viento como disturbio, y a la evidencia directa que permitiera su identificación, no se le dedicó atención a tales liberaciones, pudiéndose deber al acontecimiento de otros disturbios ocurridos en el pasado.

Con respecto a la metodología elegida para delimitar los eventos de volteos por viento, y más allá de la rigurosidad que esta posea (ya sea subestimando algunos eventos), se considera que ha sido la correcta ya que toma tres variables diferentes (mortalidad, liberaciones, establecimiento), y los valores requeridos también han sido acordes a las dimensiones de las parcelas, posiblemente en el caso de un estudio más macro, es decir en la reconstrucción de un valle entero, haya que considerar otras variables pertinentes (como condiciones edáficas), y una rigurosidad diferente en la toma de decisiones al momento de hacer la reconstrucción de este disturbio.

6. Conclusión

Los resultados obtenidos en esta tesina de grado permiten concluir que en los Valles Río Toro y Río de las Vueltas la incidencia de las tormentas de viento juegan un papel importante en la dinámica de los bosques de *Nothofagus pumilio*. El análisis de los anillos de crecimiento usando técnicas dendrocronológicas permitió desarrollar la primera reconstrucción de eventos de volteos por viento en los valles anteriormente mencionados, alcanzando el objetivo propuesto. La reconstrucción dendrocronológica permitió datar 17 eventos de volteos por viento, de los cuales diez corresponden al Valle Río de las Vueltas y siete al Valle Río Toro. La importancia de esta investigación radica en que es el primer trabajo que estudia la incidencia de las tormentas de viento en la provincia de Santa Cruz.

La apertura provocada en el dosel debido a la mortalidad tras los volteos por viento resulta en la liberación del crecimiento de los individuos remanentes, y en el establecimiento del banco de plántulas asociado, sin embargo un establecimiento exitoso del banco de renovales parece estar dado por la apertura del dosel tras el disturbio, y también por las condiciones favorables que permitan a las plántulas un crecimiento formando una nueva cohorte. Con el estudio de los renovales, queda implícita la capacidad de esta especie para colonizar los claros a partir de la liberación en la oferta de los recursos. Entonces, para que el establecimiento o cambios en el crecimiento de los individuos se produzcan, debe ocurrir la apertura del dosel, permitiendo la entrada de luz solar a los estratos inferiores determinando un nuevo establecimiento o un salto en el crecimiento radial de los remanentes.

Las características del disturbio (magnitud, frecuencia e intensidad) como propiedades abióticas, y las características de los individuos, como características bióticas, van a producir y/o influenciar en los cambios estructurales diferentes tras el acontecimiento del disturbio.

Más allá que no fue objetivo de la tesina poner a prueba el poder dendrocronológico de la especie en estudio, la clara definición de los episodios de mortalidad registrados en los anillos de crecimientos de *Nothofagus pumilio* destacan su potencialidad para realizar reconstrucciones dendroecológicas, dando lugar a la ampliación del estudio hacia otras áreas y regiones de manera tal que se pueda generar una red más amplia de cronologías de disturbios para poder entender en más detalle su naturaleza y sus consecuencias en la dinámica de los bosques.

7. Bibliografía

- Abrams M. D. y Copenheaver C. A. (1999). Temporal variation in species recruitment and dendroecology of an old-growth white oak forest in the Virginia Piedmont, USA. *Forest Ecology and Management* 124: 275-284.
- Aravena JC; Lara A.; Wolodarsky-Franke A.; Villalba R.; Cuq E.; (2002). Tree-ring growth patterns and temperature reconstruction from *Nothofagus pumilio* (Fagaceae) forests at the upper tree line of southern Chilean Patagonia. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 361-376.
- Barrera M. D.; Frangi J. I.; Richter, L. I.; Perdomo, M. H.; Pinedo, L. B. (2000). Structural and functional changes in *Nothofagus pumilio* forests along an altitudinal gradient in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Vegetation Science* 11: 179-188.
- Bava J. y Rechene C. (1999). Dinámica de la regeneración de Lengua (*Nothofagus pumilio*) (Poepp. Et Endl. Krasser) como base para la aplicación de sistemas silvícolas. CIEFAP. Esquel Chubut. Argentina.
- Bergeron Y. y Charron D. (1994). Postfire stand dynamics in a southern boreal forest (Québec): dendroecological approach. *Ecoscience* 1: 173-184.
- Boninsegna J. A. (1992). South American dendrochronological records. En: Bradley, R. S. y Jones P. D. (ed.) *Climate Since A.D. 1500*. Chapman and Hall. New York, U.S.A. (1995), 446-462.
- Boyden S.; Binkley D. y Shepperd W. (2005). Spatial and temporal patterns in structure, regeneration, and mortality of an old-growth ponderosa pine forest in the Colorado Front Range. *Forest Ecology and Management* 219: 43-55.

- Bradley R.S. (1999). "Paleoclimatology: Reconstructing climates of the quaternary. *Academic*", San Diego. 613 p.
- Brown P. M. y Wu R. (2005). Climate and disturbance forcing of episodic tree recruitment in a south western Ponderosa pine landscape. *Ecology* 86: 3030-3038.
- Cabrera A. (1976). Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II, Fasc. I, Ed. ACME.
- Casteller A.; Villalba R.; Mayer A. y Stöckli V. (2009). "Dendrochronological reconstruction of spatial and temporal patterns of snow avalanches in the Patagonian Andes". *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 245-264.
- Cook E. R. (1985) A time series analysis approach to tree ring standardization. En: *School of Renewable Natural Resources* pp. 171. University of Arizona, Tucson.
- Cuevas J. G. (2000). Tree recruitment at the *Nothofagus pumilio* alpine timberline in Tierra del Fuego, Chile. *Journal of Ecology* 88: 840-855.
- Daniels L. D. y Veblen T. T. (2004). Spatiotemporal influences of climate on altitudinal treeline in northern Patagonia. *Ecology*. 85: 1284-1296.
- Dimitri M. (1972). La región de los bosques Andino-Patagónicos. Sinopsis General. Colección Científica Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Tomo X. Buenos Aires.
- Donoso C. (1993). Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica. De Universitaria, Santiago, Chile. 484 p.
- Everham E.M.; Brokaw N.V.L. (1996). Forest damage and recovery from catastrophic wind. *The Botanical Review* 62: 113-185.
- Foster D.R. y Boose E.R. (1992). Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in central New England, USA. *Journal of Ecology*. **80**: 79–98.

- Franklin J. F.; Spies T. A.; Van Pelt R.; Carey A. B.; Thornburgh D. A.; Berg D. R.; Lindenmayer D. B.; Harmon M. E.; Keeton W. S.; Shaw D. C.; Bible K.; Chen J. (2002). Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *Forest Ecology and Management* 155: 399-423.
- Fritts H.C. (1976). Tree rings and climate. *Academic Press*. New York, USA.
- González M.E.; Amoroso M.; Lara A.; Veblen T. T.; Donoso C.; Kitzberger T.; Mundo I.; Holz A.; Casteller A.; Paritsis J.; Muñoz A.; Suarez M. L.; Promis A. Ecología de disturbios y su influencia en los ecosistemas forestales templados de Chile y Argentina. En: Donoso C.; González M.E.; Lara A.; Donoso P. (editores). *Ecología Forestal: Bases para el Manejo Sustentable de los Bosques Nativos*. Marisa Cuneo Editores. Valdivia. (En prensa).
- Grime J. P. (1979). *Plant Strategies and Vegetation Process*. J. Wiley. Chichester, England.
- Grissino-Mayer H. D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205-221
- Guerrido C. Fernandez D. (2007). Flora Patagonia. Guía para la identificación de plantas y sus hábitats. *Fantástico Sur* Editorial, 298.
- Gutierrez E. (1988). "Dendroecología de *Pinus Sylvestris* L. en Cataluña" .*Orsis* 5: 23-41.
- Hennon P.E. (1995). Are heart rot fungi major factors of disturbance in gap dynamic forests? *Northwest Science* 69 84-293.
- Henry J.M y Swann J.M A. (1974). Reconstructing forest history from live and dead plant material- an approach to the study of forest succession in southwest New Hampshire. *Ecology* 55: 772-783.

- Holmes R. L. (1983). Computer assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Holmes R. L. (1992) *Dendrochronology program library user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research*. University of Arizona, Tucson.
- Jane G. T. (1986). Wind damage as an ecological process in mountain beech forests of Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology* 9:25-39.
- Kaennel M.; Schweingruber F. H. (1995). Multilingual glossary of dendrochronology: Terms and definition in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian. Bern, Stuttgart, Vienna:Haupt. pp. 467.
- Kitzberger T.; Veblen T. T.; Villalba R. (2000). Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados en Sudamérica. *Dendrocronología en América Latina*, F. A. Roig (comp.); EDIUNC, Mendoza.
- Lara A.; Aravena J. C.; Villalba R.; Wolodarsky-Franke A.; Luckman B.; Wilson R. J. S. (2001). Dendroclimatology of high-elevation *Nothofagus pumilio* forests at their northern distribution limit in the central Andes of Chile. *Canadian Journal of Forest Research* 31, pp. 925–936.
- Lorimer C. G. y Frelich L. E. (1989). A methodology for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forests. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 651-66.
- Martínez-Pastur- G.; Peri P.; Fernández M. C. y Staffieri G. (1999). Desarrollo de la regeneración a lo largo del ciclo del manejo forestal de un bosque de *Nothofagus pumilio*: Incidencia de la cobertura y el aprovechamiento o cosecha. *Bosque* 20: 39-46.

- Masiokas M.H. (2009). Little Ice Age fluctuations of small glaciers in the Monte Fitz Roy and Lago del Desierto areas, south Patagonian Andes, Argentina, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 351-362.
- Mundo I. (2011). Historia de incendios en bosques de *Araucaria araucana* (Molina) K Kolch de Argentina a través de un análisis dendroecológico. Tesis doctor en Biología. La Plata. Buenos Aires. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. 176 pp.
- Muñoz- Schick M. (1980). Flora del Parque Nacional Puyehue. *Editorial Universitaria*. Santiago. 558 pp.
- Nowacki G. J. y M. D. Abrams. (1997). Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecological Monographs* 67:225–49.
- Nowacki G. J. y Kramer M. G. (1998). The effects of wind disturbance on temperate rain forest structure and dynamics of southeast Alaska pp. 1-20. USDA Forest Service.
- Ogden J. (1985). Dendrochronological studies and the determination of tree ages in the Australian tropics. *Journal of Biogeography* 8: 405-420.
- Oliver C., y B. Larson. (1996). Forest Stand Dynamics. *John Wiley y Sons*, Inc.
- Palacios Misael (2013): Reconstrucción dendrocronológica de ataques de cuncuna (*ormiscodes amphimone*) en bosques de Lengua (*Nothofagus pumilio*) en El Chaltén Santa Cruz. Tesina de grado Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Mendoza. Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.
- Payette S.; Delwaide A.; Simard M. (2010). Frost-ring chronologies as dendroclimatic proxies of boreal environments. *Geophysical Research Letters* 37.

- Peterson C. J. y Pickett S. T. A. (2000). Experimental patch dynamics: patch type influences on components of regeneration in a catastrophic windthrow. *Oikos*, 90: 489-500.
- Pickett S. T. A.; White P. S. (1985). The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. *Academic Press*. San Diego, California, U.S.A., 472.
- Premoli AC. (2004). Variación en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser (*N. pumilio*). En Donoso C, AC Premoli, L Gallo, R Iliniza eds. Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Santiago de Chile, Chile. *Editorial Universitaria*. p. 145-166.
- Puigdefábregas J; F. Gallart O.; Biaciotto M.; Allogia; Del Barrio G (1999). Banded vegetation patterning in a subantarctic forest of Tierra del Fuego, as an outcome of the interaction between wind and tree growth. *Acta Oecol.* 20, 135–146.
- Rebertus A.; Veblen T. T. (1993). Structure and tree-fall gap dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Vegetation Science* 4: 641-654.
- Rebertus A.J., Kitzberger T., Veblen T.T. y Roovers L.M. (1997). Blowdown history and landscape patterns in the Andes of Tierra del Fuego, Argentina. *Ecology*, 78, 678–692.
- Roig F. A.; Anchorena J.; Dollenz O.; Faggi A. M.; Méndez E. (1985). Las comunidades vegetales de la Transecta Botánica de la Patagonia Austral. En: Boelcke, O.; Moore, D. M.; Roig, F. A. (ed.) Transecta Botánica de la Patagonia Austral. Conicet (Argentina) Instituto de la Patagonia (Chile) Royal Society (Gran Bretaña). Buenos Aires.
- Rusch V. (1993). Altitudinal variation in the phenology of *Nothofagus pumilio* in Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 131-141.

- Santos Biloni J. (1990). Árboles autóctonos Argentinos. Tipográfica Editora Argentina. Universidad de Texas, Texas, U.S.A., 335.
- Schulman E. (1956). Dendroclimatic Changes in Semiarid America. University of Arizona Press, Tucson, AZ, USA.
- Schweingruber F. H. (2007). Wood Structure and Environment. Springer Series in *Wood Science*, pp. 87-92.
- Sprugel D. G. (1976). Dynamic structure of wave- regenerated *Abies balsamea* forests in the north- eastern United States. *Journal of Ecology*. 64: 889-911.
- Srur A.; Villalba R.; Villagra, P. E.; Hertel D. (2008). Influencias de las variaciones en el clima y en la concentración de CO₂ sobre el crecimiento de *Nothofagus pumilio* en la Patagonia. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 239-256.
- Stokes M. A.; Smiley T. L. (1968). An Introduction to Tree-Ring Dating. *University of Chicago Press*, Chicago, 73.
- Suarez M. L. (2009). Efecto de las fluctuaciones climáticas sobre la dinámica de bosques de *Nothofagus dombeyi*, a lo largo de un gradiente ambiental en el norte de la Patagonia, Argentina. Tesis doctorado en Biología. Bariloche Argentina. Universidad Nacional del Comahue. 253pp
- Szejner S. (2007). Estructura, Dinámica y Estado de conservación de los bosques de *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florín, en la Reserva Nacional Valdivia. Tesina de grado Ingeniería Forestal. Valdivia. Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 65pp.
- Tardif J. y Bergeron Y. (1993). Radial growth of *Fraxinus nigra* in a Canadian boreal floodplain in response to climatic and hydrological fluctuations. *Journal of Vegetation Science* 4: 751-758.

- Timonthy M. y Ogden J. (2006). Wind damage and response in New Zealand forests: a review. : Available on line: <http://www.nzes.org.nz/nzje>, published: 13/11/2006.
- Turner M. G.; Baker W. I.; Peterson C. J. y Peet R K (1998). Factors influencing succession: Lessons from large, infrequent natural disturbances. *Ecosystems* 1: 511–523.
- Veblen T.T. (1979) Structure and dynamics of *Nothofagus* forests near timberline in south-central Chile. *Ecology* 60, 937–45.
- Veblen T.T (1985). Forest development in tree fall gaps in the temperate rain forest of Chile. *Nacional Geographic Research* 1:161-184.
- Veblen T.T y Donoso C (1987), Alteración natural y dinámica regenerativa de las especies chilenas de *nothofagus* en la región de los lagos. *Bosque*: 8(2): 133-142-
- Veblen T. T.; Hadley K. S.; Reid M. S.; Rebertus A. (1991). Methods of detecting past spruce beetle outbreaks in Rocky Mountain subalpine forests. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 242-254.
- Veblen T. T.; Kitzberger T.; Burns B. R.; Rebertus A. J. (1996). Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques andinos del sur de Chile y Argentina. *Ecología de los bosques nativos de Chile*, Cap. 9. Chile.
- Veblen T.T., D. Kulakowski K.S. Eisenhart, y W.L. Baker (2001). Subalpine forest damage from a severe windstorm in northern Colorado. *Canadian Journal of Forest Research* 31:2089-2097.
- Villalba R y Veblen T.T (1997). Regional patterns of tree populations age structures in northern Patagonia and disturbance influence. *Journal of Ecology*:113-124.

- Zielonka T., Holeksa J., Fleischer P., y Kapusta P. (2010). A tree-ring reconstruction of wind disturbances in a forest of the Slovakian Tatra Mountains, Western Carpathians. *Journal of Vegetation Science*, 21(1), 31-42.