

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES  
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

**EVALUACIÓN DE UNA CORTA DE  
REGENERACIÓN Y EL DAÑO POR VIENTO, EN UN  
BOSQUE DE LENGUA (*Nothofagus pumilio*) EN  
RUSSFIN, PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO, XII  
REGIÓN.**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**RAÚL ÁLVARO CAPRILE NAVARRO**

Profesor guía: Dr. Ingeniero Forestal Harald Schmidt van Marle

Santiago, Chile  
2005

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES  
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

**EVALUACIÓN DE UNA CORTA DE REGENERACIÓN Y EL  
DAÑO POR VIENTO, EN UN BOSQUE DE LENGA  
(*Nothofagus pumilio*) EN RUSFIN, PROVINCIA DE  
TIERRA DEL FUEGO, XII REGIÓN.**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**Raúl Alvaro Caprile Navarro**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Harald Schmidt v. M.	7,0	.....
Prof. Consejero Sr. Gustavo Cruz M.	6,5	.....
Prof. Consejero Sr. Horacio Bown I.	6,8	.....

**SANTIAGO, CHILE**

**2005**

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

**EVALUACIÓN DE UNA CORTA DE REGENERACIÓN Y EL DAÑO  
POR VIENTO, EN UN BOSQUE DE LENGA (*Nothofagus pumilio*)  
EN RUSSFIN, PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO, XII REGIÓN.**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**RAÚL ÁLVARO CAPRILE NAVARRO**

Profesor Guía: Ing. Forestal, Dr. Harald Schmidt van Marle

**SANTIAGO - CHILE**  
**2005**

## 1. INTRODUCCIÓN

La lenga (*Nothofagus pumilio*) es una especie nativa de madera de gran calidad, que presenta una amplia distribución y constituye un importante recurso forestal especialmente para la XI y XII Región. El manejo silvícola de esta especie se realiza mediante el sistema de corta de protección, donde sólo en la primera intervención (corta de regeneración) se extrae alrededor del 50% de las existencias del bosque en área basal, generando condiciones favorables para el establecimiento y desarrollo de la regeneración, una vez que la regeneración se ha establecido satisfactoriamente en forma homogénea sobre la superficie, y ha alcanzado una altura de entre 50 cm y 1 m, los árboles remanentes son extraídos en la corta final. La aplicación de cortas de protección en forma extensiva en los bosques de lenga de la XII Región datan de 1992, y a la fecha existen aproximadamente 25.000 ha intervenidas bajo esta modalidad (Schmidt *et al.*, 2001).

De acuerdo a lo expuesto por Schmidt (1993) la realización de cortas de protección en bosques de lenga permite extraer un volumen maderable de alrededor de 10 a 20% de las existencias originales del bosque, y además mejora la producción a futuro. Es este sentido Schmidt y Urzúa (1982) indican que en condiciones naturales el crecimiento diametral de los árboles en promedio es de 1,7 mm/año; y en bosques intervenidos este crecimiento puede elevarse en promedio a valores superiores a 4 mm/año en diámetro. La apertura del dosel como consecuencia de la intervención permite un mayor ingreso de luz al piso del bosque que favorece tanto el desarrollo de la regeneración establecida, como el establecimiento de nuevas plantas de la que surgirá el bosque futuro.

Las cortas de protección como cualquier otro sistema de corta, generan condiciones de inestabilidad al interior del bosque. El viento ha sido descrito como una importante perturbación en los bosques de *Nothofagus* y en particular de los bosques de lenga, provocando caída masiva de árboles por efecto de tormentas ocasionales en la Patagonia (Agostini, 1941; Eskuche, 1973; citados por Veblen *et al.*, 1996).

En la Región de Magallanes con frecuencia los bosques sufren grandes daños por acción del viento (Rebertus, *et al.*, 1997) y el tema ha sido escasamente investigado. La región es sumamente ventosa, especialmente en verano, donde se han registrado tormentas en que el viento ha superado velocidades de 130 o 140 km por hora.

En este trabajo se analiza un bosque de lenga cosechado bajo el sistema de corta de protección en 1995 ubicado en Tierra del Fuego, el área sufrió una tormenta particularmente fuerte a fines 1998 que provocó la caída masiva de árboles en el bosque. El estudio se realizó cuatro años después de efectuada la corta de regeneración, se analizó la estabilidad del dosel de protección, el crecimiento diametral y volumétrico del bosque residual; el establecimiento y crecimiento de la regeneración. Se pone énfasis en determinar la relación entre la magnitud de daño observado, con las variables dasométricas del bosque, de la cosecha, la calidad del sitio y algunas variables topográficas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Evaluar una corta de regeneración y el daño producido por el viento en un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*), ubicado en el sector de Russfin, Provincia de Tierra del Fuego, XII Región.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analizar la estabilidad del bosque intervenido, describiendo la intensidad de caída y quiebre de árboles del dosel remanente por acción del viento.
- Evaluar el crecimiento del dosel remanente posterior a la corta de regeneración.
- Evaluar el establecimiento y crecimiento de la regeneración posterior a la corta de regeneración.

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Antecedentes generales de la especie

##### 3.1.1 Distribución geográfica

La lenga es una especie nativa de Chile y Argentina. Por la Cordillera de los Andes, crece desde la provincia de Talca (VII Región) hasta las proximidades del Cabo de Hornos (XII Región) y en la Cordillera de la Costa, en las partes más altas de Nahuelbuta y en la Cordillera Pelada de la provincia de Valdivia. Al norte de la provincia de Llanquihue se encuentra siempre en el límite altitudinal de la vegetación arbórea, pero hacia el sur decrece en altitud llegando a encontrarse incluso a nivel del mar, como ocurre en la provincia de Magallanes (Rodríguez *et al.*, 1983).

##### 3.1.2 Hábitat y asociación con otras especies

La lenga tiene una gran amplitud ecológica y su distribución natural indica que requiere de bajas temperaturas y de un suelo generalmente de poca calidad. Habita en lugares con abundante pluviometría, en que el invierno es particularmente riguroso, con agua nieve a lo largo de la estación fría y a menudo afectados por intensos vientos helados de la zona austral (Rodríguez *et al.*, 1983).

Se asocia con ñirre (*Nothofagus antarctica*), coihue (*Nothofagus dombeyi*), coihue de Chiloé (*Nothofagus nitida*), coihue de Magallanes (*Nothofagus betuloides*) y a veces junto a roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*); también se encuentra asociada a araucaria (*Araucaria araucana*) (Donoso, 1981).

##### 3.1.3 Usos e importancia de la especie

La madera de lenga es cada día más apreciada por sus especiales características. Posee una albura de color blanco amarillento y duramen claramente diferenciado, de color rosado pálido a rojo oscuro; moderadamente pesada, parecida a la de *Nothofagus alpina*. La lenga es una madera que ofrece buenas aptitudes para el secado, fácil de trabajar, tornear y teñir. No presenta problemas para la unión con adhesivos y se presta muy bien para el cepillado, lijado y para la sujeción de clavos y tornillos. Es utilizada en aplicaciones estructurales, pisos, revestimientos, molduras, puertas, ventanas, partes y piezas de muebles; chapas decorativas y otros (Rodríguez *et al.*, 1983; Torres, 1991).

La lenga es conocida en muchos países como “Cerezo de Tierra del Fuego”, por la similitud con la madera de Cerezo (*Prunus sp.*). Particularmente en Estados Unidos se le conoce con el nombre comercial de Luceena y Fireland Cherry y se le atribuyen propiedades comunes a las maderas de Cerezo (Black Cherry), Aliso (Red Alder) y Arce (Hard Maple) (Torres, 1991).

## 3.2 Antecedentes de los bosque de lenga

### 3.2.1 Superficie de bosques

La lenga como tipo forestal ocupa una superficie equivalente a 3,4 millones hectáreas, lo que representa el 25,3% de la superficie total cubierta por bosque nativo, y un 4,5% del territorio nacional (CONAF-CONAMA, 1999). Estas cifras indican que el tipo forestal lenga es el segundo tipo de bosque más abundante en nuestro país, y representa un importante recurso forestal, especialmente para la XI y XII regiones donde se concentra más del 80% de la lenga. Se estima que en Magallanes existen del orden de 500 mil hectáreas de bosques económicamente productivos (Fundación Chile, 1998).

#### 3.2.1.1 Subtipos Forestales

Los bosques de lenga han sido divididos en los siguientes subtipos:

**Bosques achaparrados y krummholz de lenga:** En el límite altitudinal del tipo forestal lenga, éste se presenta como matorral puro, caracterizado por el crecimiento achaparrado o arrastrado, condición conocida como krummholz de lenga, y que se produce debido a las condiciones restrictivas del ambiente derivadas de las bajas temperaturas, fuertes vientos, nieve y poco desarrollo del suelo (Donoso, 1993).

**Bosque puro de lenga:** Este subtipo se desarrolla en la Cordillera andina inmediatamente por debajo de los krummholz y en gran parte de las áreas bajas, planas y onduladas de las regiones de Aysén y Magallanes (Donoso, 1993).

**Bosque mixto de lenga-coihue:** Este subtipo consiste en bosques mixtos de dos clases; uno de lenga o coihue, que se desarrolla en la Cordillera de los Andes inmediatamente por debajo de la altitud de los bosques puros de lenga; y una segunda clase constituida por lenga y coihue de Magallanes, que se desarrolla en la cordillera por debajo del subtipo lenga puro y al sur del paralelo 40° 30' S y también en Magallanes, en las zonas transicionales entre el tipo forestal lenga y el tipo forestal coihue de Magallanes (Donoso, 1993).

### 3.2.2 Estructura y dinámica de los bosques de lenga

Schmidt y Urzúa (1982) describen la estructura de los bosques de lenga como un mosaico de rodales coetáneos en los que se reconocen diferencias de sitio y fases de desarrollo. Estos autores interpretan la dinámica de los bosques de lenga como una sucesión de cambios estructurales cíclicos, que se repite en forma similar a través del tiempo, donde se reconocen cuatro fases de desarrollo del bosque:

**fase de desmoronamiento con regeneración:** en ella se produce una disminución gradual de los árboles sobremaduros, lo que permite el establecimiento de la regeneración. Esta etapa puede durar 50 a 70 años y culmina en un monte bravo del orden de 2 a 5 m de altura.

**fase de desmoronamiento con crecimiento óptimo:** se presenta a continuación de la fase anterior, en ella aún están presentes algunos árboles de la primera generación, y la

segunda generación está constituida por un latizal de árboles juveniles que penetran vigorosamente en el estrato superior. La edad de los árboles juveniles al final de esta etapa llega a los 140 años.

**fase de envejecimiento:** los árboles conservan la estructura de la fase anterior y alcanzan edades del orden de 200 años, cuando se inicia la fase de desmoronamiento y la apertura del dosel superior, lo que permite nuevamente el establecimiento de regeneración y el desarrollo de una nueva generación (Schmidt *et al.*, 2001).

Desde otra perspectiva, Bava (1999) plantea que, dada la gran variedad de condiciones donde se desarrolla la lenga a lo largo de toda su distribución, son varios los procesos dinámicos que determinan la evolución del bosque. Como consecuencia de ello, en los bosques de lenga se pueden encontrar estructuras irregulares (heterogéneas) como regulares (coetáneas), producto de procesos muy diferentes, que van desde la dinámica de claros hasta la recuperación del dosel tras eventos catastróficos.

### 3.2.3 Silvicultura del bosque

En la actualidad la legislación forestal vigente establece que el tipo forestal lenga puede ser intervenido bajo dos modalidades: el sistema de cortas de protección y el sistema de cortas selectivas. Las alternativas silvícolas a utilizar para iniciar el manejo de los bosques dependerán de la estructura y estado de desarrollo de los rodales. Schmidt *et al.*, (1996), plantean que la corta de protección es la principal alternativa silvícola para iniciar el manejo del bosque por su mal estado sanitario debido a su condición de sobremadurez.

El sistema silvicultural de cortas de protección (también llamado cortas sucesivas con regeneración bajo dosel), consiste en abrir gradualmente el bosque, para dar paso a la regeneración y con ésta, a un bosque más productivo y de madera de mejor calidad que el bosque natural (Schmidt, 1993). La primera corta a realizar es la corta de regeneración, ésta habitualmente tiene una intensidad de alrededor del 50% de las existencias en área basal o volumen, y tiene como objetivo el generar condiciones favorables para el establecimiento y desarrollo de la regeneración. La siguiente intervención es la corta final, corresponde a la extracción de todo el dosel de protección dejado en la etapa anterior, ésta se realiza cuando la regeneración está establecida en forma homogénea y cuando alcanza una altura cercana a los 50 cm (Schmidt *et al.*, 2001).

Este tipo de intervención conduce al bosque de lenga hacia una estructura de monte alto regular, que resulta recomendable tanto por razones biológicas como por la factibilidad de lograr esta transformación (Schmidt y Urzúa, 1982). Esta forma de intervención se utiliza en los bosques de *Fagus* del hemisferio norte, que son de características bastante similares (Schmidt *et al.*, 1996). El método de cortas de protección ha sido ampliamente utilizado también en el manejo forestal de distintas especies del género *Pinus* en diferentes partes de Estados Unidos (Hawley y Smith, 1972).

En el pasado, la forma tradicional de cosecha de madera en los bosques de lenga en Magallanes se restringía a un floreo de los bosques para extraer sólo las trozas aserrables de él. La corta era suave, bastante heterogénea y no obedecía a ningún

principio de manejo silvícola. Con la promulgación del Decreto Ley N° 701, de 1974<sup>1</sup>, esta situación cambia ya que este cuerpo legal obliga a los propietarios a presentar y obtener la aprobación de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) de un plan de manejo cuando se desee intervenir un bosque, sin embargo la ausencia de normas reglamentarias específicas permitió que el floreo se prolongara hasta 1980. Ese año se dicta el D.S. 259 que reglamenta el DL 701, en él se establecen las principales orientaciones para el manejo de los diferentes tipos forestales del bosque nativo, y se señalan las normas técnicas y jurídicas específicas para su aprovechamiento.

En Magallanes, a partir de 1992 la instalación de una planta de astillas generó una gran demanda de metros rumas para su abastecimiento, esto hizo que aumentara la intensidad de las intervenciones y se inicia como practica normal la corta de regeneración homogénea (Schmidt *et al.*, 1996), perdurando aún después del cese del funcionamiento de dicha planta industrial en 1997.

En la actualidad se estima que en la XII Región la superficie total de bosques intervenidos con cortas de protección es de entre 20.000 y 25.000 ha, y que anualmente se intervienen del orden de 2.000 ha. El manejo de los bosques en Magallanes a través de las cortas de protección ha permitido elevar del orden de 3 veces el volumen de madera que se cosecha por hectárea (Schmidt *et al.*, 1996a).

### 3.2.3.1 Efectos silvícolas de las intervenciones silvícolas

El efecto más significativo de las intervenciones en el bosque es que ellas estimulan el crecimiento de los árboles, aumentando su incrementos diametrales por año, ello como consecuencia de la ejecución de raleos en renovales (Contreras, 2004), o cortas de regeneración en rodales maduros (Borie, 2000;Rodríguez, 2002; Troncoso, 2004)), ello permitiría acortar la longitud de la rotación, mejorar la condición sanitaria y calidad maderera del bosque (Schmidt y Urzúa, 1982).

Se ha determinado que en forma posterior a las cortas de regeneración, la regeneración se establece exitosamente en los sectores intervenidos, lo que luego de 4 años de realizada intervención supera ampliamente la densidad de plantas preexistentes (Espejo, 1996; Rodríguez, 2002).

Algunas investigaciones sugieren que como consecuencia de la corta de regeneración, la composición de especies del sotobosque suele aumentar en comparación al bosque natural, sin que ello tenga un efecto significativo sobre la densidad de la regeneración (Espejo, 1996; Holmgren, 2000).

Por otra parte, la modificación de la cobertura y densidad del rodal, originan cambios en general significativos en las variables microclimáticas (radiación solar global, PAR, velocidad del viento y precipitación neta). Estos cambios, a su vez, generan condiciones favorables para el desarrollo inicial de la regeneración natural (Promis, 1999).

---

<sup>1</sup> Su texto fue reemplazado por el decreto ley N° 2.565, de 1979 y modificado por la ley N° 19.561 de 1998; en el DFL N° 294, de 1960, Orgánico del Ministerio de Agricultura y en el N° 8 del artículo 32° de la Constitución Política de la República (Diario Oficial, 29 de septiembre 1998).

### 3.2.3.2 Estabilidad de los bosques de lenga

En la Región de Magallanes el viento es el principal factor ambiental que afecta la estabilidad individual de los árboles y del bosque en su conjunto. Schmidt y Urzúa (1982) señalan que en esta región el viento puede constituir un serio problema para el crecimiento en altura y forma de los árboles.

En el bosque natural sin intervención el viento se desplaza normalmente sobre las copas, mientras que en aquellos intervenidos, el viento penetra y desciende oblicuamente en las aberturas creadas por la corta de árboles, generando turbulencias y corrientes al interior del bosque (Stathers *et al.*, 1994; Kimmins, 1997). El sistema de intervención en los bosques de lenga, como cualquier otra forma de corta, genera aberturas en el dosel arbóreo, con lo que los árboles pierden su apoyo lateral, ello eleva el riesgo a que se produzcan daños, como la caída de árboles y/o quebraduras de fustes por efecto del viento (Quine *et al.*, 1995).

El daño por viento en bosques de lenga ha sido reportado por diferentes autores, tanto en bosques vírgenes (Rebertus y Veblen, 1993; Espejo, 1996; Rebertus *et al.*, 1997) y en bosques donde se ha realizado corta de regeneración (Schmidt, 1993; Vergara, 1996; Espejo, 1996; Martínez-Pastur *et al.*, 1999; Herrera, 2000; Rodríguez, 2002; Troncoso, 2004).

Algunas investigaciones indican que la intensidad del daño por viento sobre el dosel de protección es mayor en sitios de mejor calidad y con mayor intensidad de intervención (Schmidt, 1993; Vergara, 1996; Schmidt *et al.*, 1997; Rodríguez, 2002), otros estudios no han permitido establecer relaciones significativas entre la magnitud del daño y la calidad de sitio en que se desarrolla el bosque (Herrera, 2000).

La estabilidad del dosel de protección también varía en función del tipo de árboles a dejar, las pérdidas en área basal son significativamente mayores cuando el dosel quedó constituido preferentemente por árboles juveniles y maduros en comparación a otro rodal donde predominaron los árboles sobremaduros (Schmidt y Caldentey, 1994; Espejo, 1996). Schmidt (1993), indica que resulta recomendable que el dosel de protección esté constituido por árboles sobremaduros, debido a que ellos han tenido una mayor exposición al viento y cuentan con un sistema radicular más extenso y adaptado a las exigencias que los árboles maduros y juveniles. Del mismo modo, por razones de estabilidad y rendimiento de la masa boscosa es conveniente evitar intervenciones muy intensivas.

### 3.2.4 Características productivas de los bosques de lenga

La lenga, como otras especies del bosque nativo se caracteriza por su lento crecimiento. En bosques no intervenidos se han reportado incrementos diametrales promedio de 1,7 mm/año, los que por medio de tratamientos silviculturales puede elevarse en promedio a valores superiores a 4 mm/año en diámetro (Schmidt y Urzúa, 1982).

El crecimiento diametral de los árboles luego de la corta de regeneración está influenciado por la calidad del sitio donde se desarrolla el bosque, y por la fase de desarrollo en que se encuentran los árboles. Los árboles juveniles y maduros mostraron un mayor incremento diametral que árboles sobremaduros (Borie, 2000)

Schmidt *et al.* (1996) en un bosque natural de lenga en Penitente (XII Región) determinaron que el incremento anual promedio en diámetro fluctuaba entre 1,2 a 1,7 mm/año. Una evaluación realizada cuatro años después de realizada la corta de protección, en ese bosque mostró un incremento anual promedio en diámetro de entre 2,6 a 4 mm/año. Estos autores plantean que el crecimiento diametral de los árboles luego de la corta de regeneración está en función de la densidad del dosel remanente y del incremento individual de los árboles.

Las existencias volumétricas brutas de los bosques de producción de lenga van desde 300 m<sup>3</sup>/ha hasta poco más de 900 m<sup>3</sup>/ha. Sin embargo estas existencias se ven reducidas sustancialmente como consecuencia del deficiente estado sanitario que normalmente presentan los bosques naturales (Pesutic, 1978; Schmidt y Urzúa, 1982; Uriarte y Grosse, 1991; Garib, 1996; Schmidt *et al.*, 2001). Para la producción de madera aserrada se utilizan bosque en sitios de mejor calidad, normalmente sobre 16 m de altura, que tienen existencias sobre 500 m<sup>3</sup>/ha (Schmidt *et al.*, 2001)

Existen reportes que indican que el crecimiento volumétrico de los bosques de lenga varía entre 2,2 y 4,6 m<sup>3</sup>/ha/año, con un promedio en torno de 3,2 m<sup>3</sup>/ha/año (Schmidt y Urzúa, 1982; Uriarte y Grosse, 1991)

### **3.2.5 Regeneración de la especie**

#### **3.2.5.1 Establecimiento y densidad**

En bosques naturales la regeneración de lenga es abundante, con cantidades que van desde las 5.000 plantas por hectárea (Vergara, 1996) hasta sobre 200.000 plantas/ha (Schmidt y Urzúa, 1982; Vergara, 1996; Espejo, 1996; Schmidt *et al.*, 2001). Rebertus y Veblen (1993) sostienen que la lenga posee ciclos de regeneración por bosquetes, por lo que es común encontrar abundante regeneración donde se ha producido el desmoronamiento de algún árbol, lo que permite la entrada de luz al piso del bosque.

Después de realizada la corta de regeneración se establece una abundante regeneración en el piso del bosque (Schmidt, 1993; Espejo, 1996; Vergara, 1996, Schmidt *et al.*, 1998; Rodríguez, 2002; Troncoso, 2004), la cantidad de plantas puede ser superior a 1.000.000 de plantas por hectárea (Schmidt, 1993; Espejo, 1996), y se desarrollan sin mayor competencia con el sotobosque (Dodds, 1997). Vergara (1996) señala que el efecto sobre el suelo provocado por el ordenamiento de desechos luego de la cosecha, resultó perjudicial para el establecimiento de la regeneración, favoreciendo el establecimiento y desarrollo de malezas en desmedro de la regeneración.

Evaluaciones hechas entre 4 y 6 años después de la corta de regeneración muestran que la mayor parte de la regeneración presente se estableció luego de la intervención (Espejo, 1996; Rodríguez, 2002; Troncoso, 2004). Algunas investigaciones sugieren que la densidad de regeneración es mayor en sitios de mejor calidad (Vergara, 1996; Troncoso, 2004).

### 3.2.5.2 Desarrollo y crecimiento en altura

Evaluaciones realizadas en diversos sectores con corta de regeneración en la XII Región, han mostrado que la altura promedio de las plantas establecida luego de la corta de regeneración no supera los 20 cm de altura, luego de 4 años de realizada la intervención. Sin embargo, en los sectores intervenidos, las plantas preexistentes aunque con menor densidad, presentaron alturas sobre los 50 m (Espejo, 1996; Vergara, 1996; Rodríguez, 2002; Troncoso, 2004).

Por otra parte, las cortas de regeneración mejoran la tasa de crecimiento en altura de las plantas, en comparación a la observada en el bosque virgen (Schmidt, 1993; Vergara 1996). Se ha determinado que el crecimiento en altura de la regeneración es mayor en aquellos rodales donde ha sido menor el grado de intervención (Vergara, 1996).

Luego de 2 años de realizada la corta de regeneración Vergara (1996) determinó que la intervención benefició mayoritariamente el crecimiento en altura de las plantas recién establecidas, y que ese valor fue estadísticamente distinto del registrado para plantas preexistentes. Esta situación se revierte luego de cuatro años de realizada la corta, donde el mayor crecimiento en altura se aprecia en plantas preexistentes y que se ubican en las categorías de altura más altas (Espejo, 1996; Rodríguez, 2002). En consecuencia, lo anterior indica que tras los primeros años de realizada la corta de regeneración, se establece abundante regeneración la que crece vigorosamente en altura, sin embargo, con el transcurso del tiempo ese crecimiento no alcanza a superar el de las plantas preexistentes, las que muestran una respuesta más tardía a las nuevas condiciones generada por la intervención.

Schmidt y Caldente (1994) establecieron que el crecimiento de la regeneración varía en función del tipo de dosel de protección, observándose mayores crecimientos con coberturas de árboles sobremaduros que con dosel de árboles juveniles y maduros. Schmidt (1993) plantea que el crecimiento anual promedio en altura, durante los primeros 5 años después de la corta de regeneración, varía en función del tipo de dosel de protección entre 6,6 y 9,3 cm/año comparado con 1,5 cm/año registrado en un bosque virgen. La regeneración en etapas avanzadas, muestra crecimientos promedios entre 25 y 30 cm/año (Schmidt, 1993; Rodríguez, 2002).

En Tierra del Fuego la regeneración de lenga, tanto en bosques naturales como intervenidos, sufre el ramoneo constante de guanacos (*Lama guanicoe*), este hecho limita el desarrollo en altura de las plantas y las deforma (Dodds, 1997; Rebertus *et al.*, 1997; Schmidt *et al.*, 1998; Pulido *et al.*, 2000). En la parte continental de la distribución de la lenga en la Región de Magallanes, un daño similar es producido por ramoneo de liebres (Schmidt *et al.*, 2001; Rodríguez, 2002).

## 3.3 Antecedentes sobre el viento y su relación con el bosque

### 3.3.1 Generalidades

El viento cumple un importante rol ecológico que es descrito en detalle por Donoso (1981). Este y otros autores señalan la participación del viento en la polinización, diseminación de semillas, en la evapotranspiración y desecación de tejidos, en la fotosíntesis y otros procesos. En términos generales el viento también puede relacionarse

con cambios en la temperatura y humedad al interior del bosque (Kittredge, 1948; Promis, 1999).

Desde otra perspectiva Miller y Quine (1991), consideran que el viento afecta al bosque de dos maneras principales. Primero, bajo una prolongada exposición a fuertes vientos, las tasas de crecimiento de los árboles se reducen y la forma del tronco cambia. En condiciones muy extremas de exposición al viento, los árboles jóvenes pueden morir debido a la desecación de los tejidos y la abrasión mecánica. Por otra parte, masas boscosas que crecen sobre sitios donde la humedad o la compactación del suelo restringen el desarrollo radicular, son susceptibles a caída de árboles por acción del viento.

### 3.3.2 Efecto de la vegetación sobre el viento

La vegetación constituye una obstrucción mecánica al movimiento del viento, modificando su fuerza, dirección y velocidad. La mayor y más importante influencia que ejerce el bosque sobre el viento es la reducción de su velocidad, sin embargo esa modificación dependerá de diversos factores tales como: densidad de la masa forestal y de la copa de cada árbol, amplitud y composición del bosque; y altura de los árboles (Kittredge, 1948; Pavari, 1962). Pavari (1962) agrega además que la altura de los árboles tiene una mayor influencia en frenar la velocidad del viento cuando han llegado a la edad en que se cierran las copas.

De acuerdo a lo expuesto por Pavari (1962) una mezcla de especies tolerantes de copa ancha es mucho más eficaz en frenar la velocidad del viento que una masa pura de una especie intolerante de copa pequeña y de alturas homogéneas.

### 3.3.3 Tormentas de viento y daños en el bosque

El daño por viento en el bosque ha sido descrito como un fenómeno que anualmente provoca enormes pérdidas económicas en distintas partes del mundo tanto en plantaciones como en bosques naturales. Además, por la importancia ecológica y su impacto en la dinámica, silvicultura y ordenación de los bosques este fenómeno ha sido ampliamente investigado en el extranjero (Peltola *et al.* 2000). Sin embargo en nuestro país el tema ha tenido escaso desarrollo y en general se desconoce la magnitud del daño, tipos de bosques afectados y los factores que intervienen en su ocurrencia.

Los daños de mayor magnitud e impacto económico se producen en bosques maduros donde por la acción del viento muchos árboles resultan quebrados o caídos, lo que hace disminuir los rendimientos madereros esperables de esa superficie, aumenta los costos de extracción de la madera, altera la planificación silvícola, aumenta el riesgo de incendios, crea hábitats adecuados para la propagación de pestes (Mitchell, 1995) y satura los mercados con grandes volúmenes de madera (Quine *et al.*, 1995).

Miller y Quine (1991) clasifican las tormentas de viento de acuerdo a que tan predecibles ellas puedan ser, de esa manera denominan *tormentas endémicas* a aquellas que ocurren en sitios donde los árboles presentan un restringido desarrollo radicular, y que resultan de tormentas normales de alguna época del año. Desde este punto de vista, la ocurrencia de *tormentas endémicas* puede ser prevista, y sus efectos minimizados con

una apropiada planificación y acciones silviculturales. En contraste, estos autores llaman *tormentas catastróficas* a aquellas cuyo daño es mucho menos predecible, y que son resultado de tormentas severas de viento de ocurrencia muy poco frecuente, las que pueden devastar áreas boscosas independientemente del nivel de desarrollo radicular.

### 3.3.4 Factores que afectan la estabilidad de árboles individuales y masas boscosas

La estabilidad en sentido restringido puede ser entendida como una medida de la vulnerabilidad de los árboles al daño por viento, sin embargo en sentido amplio se refiere además a la continuidad del bosque en el tiempo, manteniendo o mejorando los niveles de calidad y productividad.

La identificación y comprensión de los factores que influyen en la ocurrencia de daño por viento en los bosques contribuyen a tomar adecuadas decisiones silviculturales a fin de evitar o minimizar su impacto (Peltola *et al.*, 2000).

El daño por viento en los bosques ha sido descrito por varios autores como un fenómeno muy complejo en el que intervienen en forma simultánea una serie de factores que interactúan entre sí (Stathers *et al.*, 1994; Mitchell, 1995; Quine *et al.*, 1995; Ruel, 1995; Everham y Brokaw, 1996; Drouineau *et al.*, 2000). Existen factores relacionados con los árboles y la estructura del bosque, con las características del suelo, con las características topográficas y con las condiciones meteorológicas (Ainsworth, 1989; Stathers *et al.*, 1994).

Everham y Brokaw, (1996) plantean que las diferencias entre especies en la severidad o el tipo de daño, puede estar relacionadas con diferencias morfológicas tales como: densidad de la madera; geometría del árbol (forma del tronco o forma y tamaño de la copa) y extensión y profundidad de las raíces. Sin embargo, tormentas extremadamente violentas pueden ocultar la influencia de diferencias morfológicas entre especies que sí son importantes en tormentas menos intensas. Estudios que analizan la relación entre los niveles de daño en el bosque y la densidad de la madera, concluyen que especies de madera más densa que el pino, frente a tormentas de viento resultan con mayor cantidad de árboles desarraigados que quebrados. Estos autores indican además, que se han encontrado correlaciones negativas entre la mortalidad y la densidad de la madera, bosques de especies de madera de baja densidad tienden a tener una mayor mortalidad global frente a tormentas de viento.

Daños que afecten las propiedades físico-mecánicas del árbol, hacen que éstos se pueda quebrar con facilidad por efecto del viento. Petersen (1988) y Lanfranco (1991) señalan *Chilecomadia valdiviana* Phil., un insecto nativo taladrador de la madera de lenga, ataca árboles en pie y en buenas condiciones sanitarias generales. Sus larvas se desarrollan al interior del árbol y sus galerías causan severos deterioros desde el punto de vista maderero y debilitan el fuste.

Mitchell (1995) propone que los factores que intervienen en el daño por viento en los bosques pueden ser agrupados en tres grandes componentes: exposición topográfica, propiedades del suelo y características del rodal. Ellos constituyen el llamado "Triángulo del daño por viento en bosques".

Conforme a lo planteado por Stathers *et al.* (1994), Mitchell (1995), Ruel (1995), Douineau *et al.* (2000), los principales factores involucrados en el daño por viento en los bosques son:

- Características de árboles individuales
- Características de los rodales
- Características topográficas
- Características del suelo
- Condiciones meteorológicas

### 3.3.4.1 Características de árboles individuales

Cada una de las partes del árbol tienen un rol en su resistencia a la acción del viento. Ésta afecta principalmente a la copa del árbol, mientras más grande sea ella, mayor es la resistencia que opone al desplazamiento del viento, especialmente si el árbol se encuentra con hojas (Drouineau, *et al.* 2000). La presencia de ramas bajas contribuye a disminuir las fuerzas involucradas y aumentan la resistencia al viento (Pavari, 1962).

El tronco transmite la fuerza del viento recibida en la copa hacia el suelo, la resistencia del tronco dependerá básicamente de su elasticidad y sanidad para soportar ese esfuerzo (Drouineau, *et al.* 2000). La presencia de pudrición, ataque de insectos u otras enfermedades generan “fallas estructurales” que determinan que el fuste se quiebre (Lanfranco, 1991; Drouineau *et al.*, 2000).

Por otra parte, la altura del árbol y forma del tronco influyen en su estabilidad individual frente al viento. En relación a la forma de los árboles, los troncos cónicos son considerablemente más fuertes que troncos cilíndricos frente a la acción del viento. El ahusamiento de los árboles, expresado como la relación altura/DAP (también llamado “índice de esbeltez”), ha sido utilizado como una medida de la vulnerabilidad individual de los árboles. Si el valor de esa relación es alto, el árbol es más propenso a resultar dañado por la acción del viento. La estabilidad de árboles individuales con la misma altura es reforzada con una baja relación altura/DAP, y árboles con un ahusamiento equivalente, incrementan su inestabilidad con una mayor altura (Stathers *et al.*, 1994; Drouineau *et al.*, 2000). Cuando la relación altura/DAP toma valores menores a 60 los daños son menos frecuentes, cuando toma valores sobre 100 los árboles son muy propensos a resultar desarraigados o quebrados por la acción del viento (Stathers *et al.*, 1994).

Los árboles más altos son generalmente más propensos a sufrir daño por viento, pues por su mayor altura transmite un mayor esfuerzo hacia su base, por lo que el árbol puede desraizarse o quebrarse. Sin embargo, árboles altos pueden ser muy resistentes al daño, si han estado expuestos al viento desde etapas tempranas, y si además poseen un buen enraizamiento, sobre suelos profundos y bien drenados (Stathers *et al.*, 1994).

En relación al sistema radicular, los aspectos más importantes y que otorgan estabilidad a los árboles son la arquitectura del sistema radicular y su sanidad. En este sentido, árboles que desarrollan una gran raíz pivotante profundizan en el suelo más que árboles con un sistema radicular tipo plato, los que tienen un mayor desarrollo lateral que en profundidad, ello los hace más inestables frente al viento. La presencia de pudrición en la raíz disminuye su resistencia, y frente al balanceo que produce el viento las raíces pueden cortarse con mayor facilidad (Drouineau *et al.*, 2000)

Un importante agente desestabilizador es la desproporción en tamaño de la parte aérea y sistema radicular, especialmente en sitios donde los suelos son delgados (Drouineau *et al.*, 2000).

#### **3.3.4.2 Características de los rodales**

Los principales elementos a nivel de rodal que influyen en su estabilidad son: altura y densidad, edad e intervenciones silvícolas realizadas. Los rodales más altos son más vulnerables a sufrir daño por viento, pues se requiere de una velocidad del viento menor para transmitir un enorme esfuerzo al suelo (Peltola y Kelomäki, 1993).

Rodales densos, sin intervención son más estables pues el contacto con las copas de árboles vecinos y la interconexión de sus sistemas radiculares, ayuda en gran medida a disipar la fuerza que ejerce el viento, este comportamiento se ha denominado “efecto bloque”, y se refiere a que rodales densos tiene una mayor estabilidad dada por el conjunto, sin embargo los árboles en forma individual resultan muy inestables por una alta relación altura/DAP (Mitchell, 1995; Drouineau *et al.*, 2000).

La presencia de alturas distintas en el rodal ofrece una mayor resistencia al desplazamiento del viento y provoca turbulencias al interior del bosque que pueden afectar su estabilidad (Kimmins, 1997).

Normalmente los rodales jóvenes son más estables, puesto que los rodales maduros con frecuencia presentan distintos problemas sanitarios que aumentan su vulnerabilidad (Stathers *et al.*, 1994). Sin embargo árboles en las últimas etapas de desarrollo pueden ser muy estables, especialmente si tiene un enraizamiento profundo, dado que han permanecido largo tiempo expuestos a la acción del viento (Schmidt y Caldentey, 1994).

Las intervenciones silvícolas pueden generar condiciones de inestabilidad en el rodal, ya que aumenta la velocidad del viento y se originan turbulencias al interior del bosque. Esta situación es más grave en intervenciones en rodales densos que han dejado expuestos árboles que individualmente son muy inestables (Drouineau *et al.*, 2000).

#### **3.3.4.3 Características topográficas**

El viento se desplaza en forma laminar sobre el terreno y las irregularidades que encuentra a su paso se traducen en cambios en su velocidad y generación de turbulencias (Kimmins, 1997). El efecto del terreno sobre el viento es un tema complejo y fundamentalmente intervienen la altitud, la magnitud de la pendiente y su orientación respecto a la dirección de los vientos dominantes. Si el viento se desplaza entre dos laderas, las mayores velocidades del viento se presentan en la parte baja del valle y en las cumbres de los cerros. Por el contrario si la dirección del viento es perpendicular a una colina, las mayores velocidades del viento se observan en los lugares más altos, con generación de turbulencias a sotavento (Stathers *et al.*, 1994, Kimmins, 1997).

#### 3.3.4.4 Características del suelo

Stathers *et al.* (1994), Quine *et al.* (1995) y Drouineau *et al.* (2000) sostienen que el suelo juega un importante rol en la estabilidad de los árboles, pues de sus características depende su anclaje al suelo y la calidad del enraizamiento. Las características del suelo determinan la profundidad en que las raíces pueden penetrar. Las limitaciones al enraizamiento pueden deberse a características propias del sitio donde los suelos son delgados con escaso desarrollo; por la presencia de barreras físicas como horizontes impenetrables por las raíces o napas freáticas altas que limitan el volumen de suelo que las raíces pueden explorar. Habitualmente árboles creciendo en suelos profundos y bien drenados son más resistentes a la acción del viento (Stathers *et al.*, 1994).

Drouineau *et al.* (2000) plantean que dentro de las características del suelo, su consistencia es la más importante. Suelos pedregosos o arenosos tiene baja consistencia y otorgan poca estabilidad a los rodales. En la mayoría de los casos la consistencia de los suelos disminuye con el contenido de humedad, ello explica la mayor inestabilidad de bosques cuando los suelos donde se desarrollan están saturados de agua.

En suelos delgados o muy húmedos los árboles con frecuencia desarrollan sistemas radiculares con una estructura tipo plato, con diámetros sobre los 4 m y muchas veces menos de 40 cm de profundidad. La forma de ese sistema radicular le da al árbol una adecuada estabilidad cuando su copa está protegida de fuertes vientos por el resto del dosel, pero no le entrega suficiente resistencia cuando los árboles adyacentes son removidos (Stathers *et al.*, 1994).

La compactación del terreno producido por el tránsito de máquinas en las faenas forestales también es una causa de enraizamiento deficiente y/o daño mecánico a las raíces (Drouineau *et al.*, 2000).

#### 3.3.4.5 Condiciones meteorológicas

Sin duda que el elemento fundamental en la ocurrencia de daño por viento en el bosque es la intensidad y duración de la tormenta. Algunos rodales o árboles individuales, por sus características generales, pueden resultar dañados con velocidades del viento relativamente bajas, en torno de los 50-60 km/h. Normalmente los daños más serios ocurren con tormentas en que la velocidad del viento supera los 100 km/h (Drouineau, 2000). Cuando las tormentas de viento son muy prolongadas, el continuo balanceo de los árboles puede provocar corte de raíces o daños a nivel del tronco, aumentando la vulnerabilidad del árbol. Los daños más severos se producen cuando la dirección del viento es distinta a la de los vientos predominantes de la zona, o cuando el suelo se encuentra saturado de agua, por lluvias previas o que acompañan a la tormenta (Stathers *et al.*, 1994; Drouineau *et al.*, 2000).

### 3.4 Acciones silviculturales tendientes a minimizar los daños por viento en los bosques.

Dentro de los factores que influyen en la ocurrencia y magnitud de los daños por viento en los bosques se reconocen algunos que pueden ser manejados por el hombre de

manera de evitar, minimizar o reducir sus impactos. La frecuencia e intensidad de las tormentas, la topografía o el tipo de suelo no pueden ser modificados por el hombre, sin embargo en especial en plantaciones el hombre puede tomar acciones respecto de la elección de especies, técnicas de plantación, régimen silvícola y la longitud de la rotación (Ainsworth,1989).

Para evitar o reducir el daño por viento sobre las masas boscosas, la silvicultura debe estar orientada a crear árboles más estables y estructuras más estables. En este sentido Peri *et al.* (2002) plantean que el daño por viento sobre los bosques puede ser reducido por medio de raleos los que incrementan el ahusamiento y la resistencia del tronco de árboles individuales.

Drouineau *et al.*, (2000) plantean que cuando los bordes del bosque están constituidos por árboles altos y con alta densidad, representan un obstáculo al desplazamiento del viento, y con frecuencia se generan turbulencias que provocan daño a los árboles al interior del bosque, ello podría ser reducido creando un gradiente de alturas en los bordes del bosque de manera de generar un efecto deflector sobre el viento.

## 4. MATERIAL Y MÉTODO

### 4.1 Área de estudio

#### 4.1.1 Ubicación geográfica

La investigación se realizó en los bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*), perteneciente a la Empresa Forestal Russfin Ltda. ubicado en la Localidad de Russfin, comuna de Timaukel, Provincia de Tierra del Fuego en la XII Región. El área de estudio corresponde al sector llamado “Monte Cazuelas”, ubicado entre los 53°35' y 53°45' S; y los 69° y 69°15' O (Figura 1). En dicho lugar se analizó una superficie aproximada de 200 ha donde se realizó una corta de regeneración durante 1995. A fines de noviembre de 1998 se produjo un severa caída de árboles como consecuencia de una tormenta particularmente fuerte que afectó la zona.



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

#### 4.1.2 Clima

En general los datos meteorológicos de la zona son escasos e incompletos. De acuerdo a la clasificación climática propuesta por Köeppen el clima del área de estudio corresponde al tipo trasandino con degeneración esteparia. La temperatura de verano (diciembre a marzo) oscila entre 4°C la mínima y 15°C la máxima (Pisano, 1977).

#### **4.1.2.1 Precipitaciones**

El área se caracteriza por presentar una precipitación distribuida durante todo el año con promedio anual entre 500-550 mm. La precipitación cae en forma de nieve principalmente entre junio y agosto y alcanza una altura promedio de 48 cm. El patrón de distribución de precipitaciones en la Isla de Tierra del Fuego indica una disminución notoria hacia el norte y este donde la formación vegetacional característica es la Estepa Patagónica y un aumento de las lluvias hacia el sur y hacia la costa del Pacífico, donde domina el Bosque Magallánico Siempreverde en el que las precipitaciones pueden ser superiores a los 2.000 mm al año (Pisano, 1977).

#### **4.1.2.2 Vientos**

Toda la región de Magallanes está afectada por fuertes vientos, especialmente en primavera y verano, llegando a registrarse fuertes temporales con vientos superiores a 100 km/hr.. La fuerza del viento favorece el desarrollo de una erosión eólica muy severa si el suelo ha perdido su cubierta vegetal, este problema se ve agravado por la presencia de texturas arenosas en los horizontes superficiales de la mayoría de los suelos. Los vientos también contribuyen al desecamiento del suelo, ya que se trata de vientos fríos de baja humedad relativa, que al soplar con gran intensidad disminuyen considerablemente la humedad aprovechable por las plantas especialmente en las praderas (Endlicher y Santana, 1988).

Endlicher y Santana (1988), señalan que las condiciones climáticas de la zona austral de la XII Región están determinadas por la Circulación General del Oeste, ello hace que en la configuración de la rosa de los vientos para esa área, dos tercios de las direcciones de los vientos dominantes correspondan a noroeste, oeste y sur oeste, donde la dirección oeste es la predominante casi todo el año (Muñoz, 1973)

#### **4.1.3 Suelos**

Muñoz (1973) señala que los bosques del área de estudio se desarrollan sobre suelos arenosos o pedregosos, a partir de material madre constituido por cenizas volcánicas. Estos suelos son poco evolucionados, muy delgados y muchos se encuentran en proceso de podsolización. Son suelos generalmente muy permeables, lo que ha originado un intenso lavado con soluciones ácidas procedentes del horizonte superior donde se acumula materia orgánica, la que es muy abundante en el piso del bosque.

De acuerdo a Díaz y Roberts (1960) los suelos pertenecen al gran grupo de suelos pardo-podsólicos (serie siete colores) originados a partir de sedimentos glaciares mezclados con cenizas volcánicas. La característica principal de estos suelos es la de presentar una estructura granular o de bloques muy finos, son de baja densidad, sueltos y esponjosos. Son de permeabilidad relativamente rápida y no presentan problemas de drenaje.

#### 4.1.4 Vegetación

El área de estudio se inserta en la formación de Bosque Magallánico Caducifolio, aquí la pradera es reemplazada por el bosque de hoja caduca. Las especies dominantes son la lenga (*Nothofagus pumilio*) y el ñirre (*Nothofagus antártica*), en los sectores más húmedos hacia la costa es posible encontrar además coihue de Magallanes (*Nothofagus betuloides*) (Pisano, 1977)

## 4.2 Método

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados, se realizó la toma de datos en terreno durante dos años consecutivos. Durante el verano de 1999 se establecieron parcelas de inventario silvícola y parcelas de regeneración como se describe en los puntos 4.2.1.1 y 4.2.3.1, respectivamente. Esta información permitió estimar las existencias del bosque y la magnitud del daño por viento que éste tuvo, así también permitió determinar la densidad de la regeneración y la intensidad de ramoneo por guanacos tras 4 años de realizada la corta de regeneración.

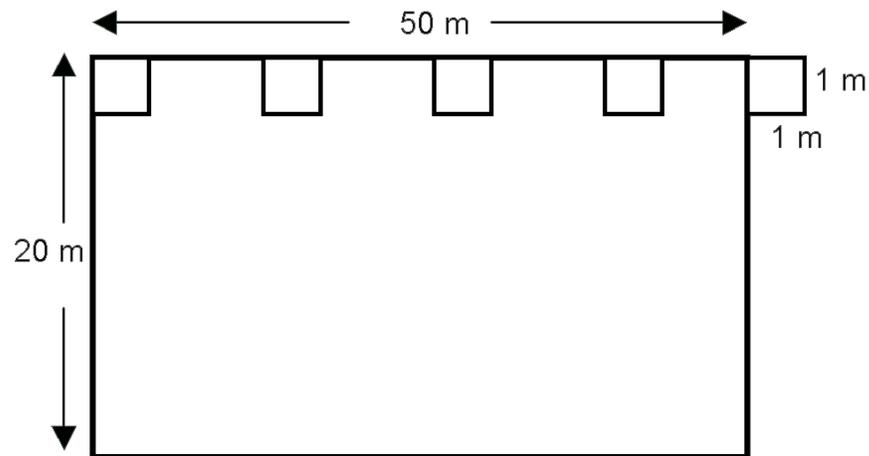
La altura dominante de la regeneración se determinó por medio de 1.100 puntos de muestreo sobre 100 transectos que se distribuyeron en el área de estudio. El crecimiento en altura y edad de la regeneración se obtuvo a partir de una muestra de 265 plantas que fueron colectadas en los transectos como se describe en el punto 4.2.3.2.

Durante el verano del año 2000, y sobre las parcelas de inventario establecidas el año anterior, se colectaron tarugos de incremento de los árboles del dosel de protección, ello permitió determinar el impacto de la intervención en el crecimiento diametral de los árboles transcurridos 4 años desde que se realizó ésta.

### 4.2.1 Estimación de existencias y estabilidad del bosque

#### 4.2.1.1 Muestreo y Toma de datos en terreno

Sobre un mapa topográfico y la cartografía del área de estudio se distribuyeron en forma sistemática 39 parcelas de inventario silvícola, cada una de 20 x 50 m ( 1/10 ha) (Figura 2), cubriendo el sector intervenido con corta de regeneración. En el esquema de distribución se utilizó como base la red de caminos existente en el área de estudio. Se distribuyeron 15 parcelas en la exposición norte, 13 en la exposición sur y 11 en la oeste respectivamente. La exposición este no fue considerada en el muestreo por no existir superficie intervenida en ella.



**Figura 2.** Dimensiones de las parcelas de inventario silvícola, y distribución de las subparcelas de regeneración asociadas a ella.

En cada parcela de inventario se midieron todos los árboles en pie, los árboles con daño por viento y tocones, registrándose las variables: DAP, DAT (diámetro de tocón), fase de desarrollo y tipo de daño por viento (Figura 2). El DAP mínimo fue de 10 cm. Las fases de desarrollo consideradas para los árboles fueron: juvenil, maduro y sobremaduro. Las categorías de daño por viento incluyeron árboles sin daño, árboles caídos, quebrados y apoyados (sobre otros árboles en pie). Para los árboles caídos se registró la dirección de caída, considerando 8 direcciones principales (N, S, E, W, NE, SE, NW y SW).

Para cada parcela de inventario silvícola se registraron además la calidad de sitio (expresada como la altura de los árboles dominantes en fase de envejecimiento o desmoronamiento), y la pendiente media del terreno medida en grados. La ubicación geográfica de las parcelas de muestreo fue determinada en terreno mediante GPS (Global Positioning System), esto permitió su representación cartográfica con una adecuada precisión.

#### 4.2.1.2 Función de volumen

Para estimar el volumen de los árboles se utilizó una función que considera el DAP y el índice de calidad de sitio como variables predictoras de acuerdo al siguiente modelo (Schmidt *et al.*, 2000):

$$V = a \cdot (\text{DAP}^b) \cdot (\text{SITIO}^c)$$

donde :  $V$  = Volumen s.c.c ( $\text{m}^3$ )  
 $\text{DAP}$  = Diámetro a la altura del pecho (m)  
 $\text{SITIO}$  = Índice de calidad de sitio (m)  
 $a, b$  y  $c$  = Parámetros del modelo

Para estimar el volumen de los árboles cosechados se construyó una relación entre el DAP y el diámetro de tocón (DAT) a partir de una muestra de 40 árboles, esto permitió estimar el DAP de los árboles extraídos en la corta de regeneración, y así

reconstituir las existencias del bosque natural por medio de la función de volumen antes descrita.

A partir de la información del inventario silvícola y de la función de volumen, se estimaron las existencias del bosque virgen y dosel de protección, la intensidad de corta y la magnitud de daño por viento según las categorías definidas con anterioridad. Esta información se sintetizó en tablas de rodal para el bosque virgen, la cosecha, el dosel de protección, y la proporción de árboles dañados por el viento. Las existencias en cada una de las situaciones de bosque también se expresaron desagregadas de acuerdo a la fase de desarrollo de los árboles y calidades de sitio encontradas en el área de estudio.

#### 4.2.2 Evaluación del Crecimiento diametral de los árboles del dosel de protección

Con el propósito de estimar el crecimiento en diámetro de los árboles en el dosel de protección, se extrajeron en cada parcela de inventario 5 tarugos de incremento, cubriendo la dispersión diamétrica de los árboles en pie. Para ello se utilizó un barreno de Pressler, con el que se obtuvieron tarugos de 5 mm de diámetro, completando una muestra de 200 tarugos de incremento (Figura 3).



**Figura 3.** Extracción de tarugos de incremento.

En los tarugos de incremento se midió el crecimiento de los árboles en un período de 4 años antes de la intervención (1991-1995) y 4 años después de ésta (1996-2000). Dada la fecha de colecta de tarugos el crecimiento del último año (período 1999-2000) no refleja el crecimiento de toda una estación de crecimiento, por lo que ese valor no fue incluido en los cálculos posteriores. Los tarugos se montaron sobre junquillos de madera, se lijaron y se midió el ancho de los añillos de crecimiento contados desde la corteza hacia la médula. Para ello se utilizó un dendrómetro que permitió una precisión de 1/100 mm.

El efecto de la intervención en el crecimiento diametral de los árboles en términos globales y por fase de desarrollo, se analizó estadísticamente mediante la Prueba T de

Student para observaciones pareadas. Adicionalmente, con el propósito de determinar diferencias estadísticas en las tasas de crecimiento diametral entre fases de desarrollo de los árboles, para situaciones de bosque virgen y dosel de protección, se realizaron por separado análisis de varianza (ANDEVA) en ambos análisis se consideró un nivel de significación ( $\alpha$ ) de 5 %.

Las estimaciones de incremento diametral obtenidas de la muestra de tarugos, permitieron ajustar diferentes ecuaciones de regresión a fin de determinar el incremento en diámetro por clase diamétrica, utilizando el DAP como variable predictora, tanto para el bosque virgen como para el dosel de protección. La bondad de ajuste de diferentes modelos se midió por medio del Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y el error típico de la estimación.

El crecimiento en área basal y volumen del bosque fue estimado utilizando la función de incremento diametral y la función de volumen individual de los árboles, señaladas anteriormente. Dichas funciones se aplicaron sobre las Tablas de Rodal de cada parcela de muestreo. Las diferencias en los resultados obtenidos son comparados entre las calidades de sitio.

### **4.2.3 Evaluación de la regeneración en el bosque intervenido**

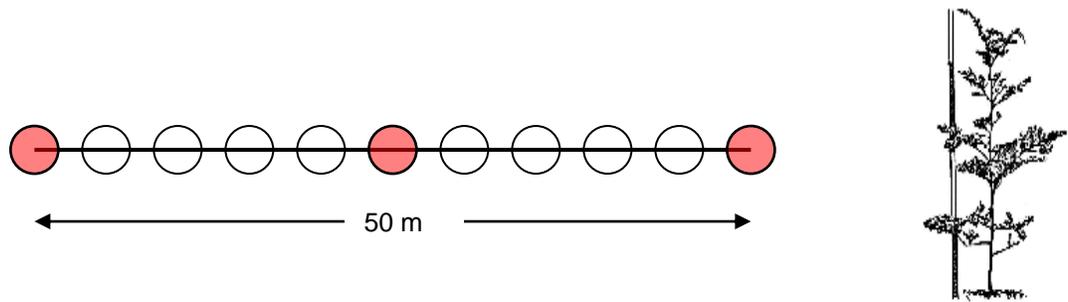
#### **4.2.3.1 Estimación de la densidad y el ramoneo de la regeneración**

La densidad de la regeneración se estimó a partir de 5 subparcelas de regeneración, cada una de 1 m<sup>2</sup>, las que fueron distribuidas de forma sistemática en cada parcela de inventario silvícola, como se muestra en la Figura 2. En cada subparcela de regeneración se contabilizó el número total de plantas, éstas fueron clasificadas en categorías de altura y si estaban ramoneadas o no por guanacos. La densidad de regeneración estimada para la parcela de inventario silvícola se obtuvo como el promedio de esas 5 subparcelas.

#### **4.2.3.2 Estimación de la altura dominante, crecimiento en altura y edad de la regeneración**

Para la estimación de la altura de la regeneración dominante se realizaron 100 transectos de 50 m cada uno. Estos fueron distribuidos al azar dentro del área de estudio y consistieron en líneas que incluyeron 11 puntos de muestreo separados 5 m entre sí (Figura 4), de ese modo se completaron 1.100 puntos de muestreo. En cada uno de esos puntos se consideró un radio de observación de 2 m y se registró la altura dominante de la regeneración de acuerdo a las siguientes categorías de altura de las plantas: plántulas, plantas menores de 20 cm, entre 20 y 30 cm, 30 y 40 cm, 40 y 60 cm, 60 y 80 cm, 80 cm y 1 m, 1 y 1,2 m; 1,2 y 1,5 m; 1,5 y 2 m, 2 y 2,5 m; 2,5 a 3 m y entre 3 y 4 m.

Con el propósito de estimar la edad y crecimiento en altura de la regeneración se colectó un total de 120 plantas dominantes. En uno de cada 5 transectos se recogieron dos plantas en los puntos de muestreo correspondientes a los 0, 25 y 50 m como muestra la Figura 4 completando una muestra de 6 plantas para ese transecto.



**Figura 4.** Transecto sobre el que se midió la altura dominante de la regeneración; los puntos marcados en rojo indican lugares en los que se extrajeron 2 plantas de regeneración para análisis de tallo, completando 6 plantas por transecto.

En todas las plantas se midió la altura total y el crecimiento de los últimos tres años a través de la longitud entre las cicatrices dejadas por las yemas en el tallo. Además se cortó una rodela basal con la que posteriormente se determinó la edad de la planta.

Adicionalmente se colectaron 25 plantas sin daño de ramoneo, para estimar el crecimiento potencial de la regeneración sin la presencia de guanacos, las que se denominaron "plantas potenciales". Estas plantas se encontraron en lugares con abundancia de árboles caídos y desechos de las operaciones de cosecha, que dificulta el desplazamiento normal de los animales. En ellas se realizaron las mismas mediciones señaladas para las plantas colectadas en los transectos.

#### **4.2.4 Relación del daño por viento con variables asociadas al bosque y a la topografía**

Con el fin de lograr una mayor comprensión del fenómeno de daño por viento, se realizaron análisis para determinar la influencia de algunas variables descriptivas del bosque y la topografía. Las variables se analizaron en forma individual y algunas de sus interacciones.

##### **4.2.4.1 Relación entre el daño y características del bosque, la cosecha y la calidad del sitio**

El daño causado por viento en las parcelas de muestreo, expresado en número de árboles, área basal y volumen, se relacionó con diferentes variables descriptivas del bosque natural, del dosel de protección, de la cosecha y otras características generales del sitio, a fin de determinar su incidencia en el daño observado (Cuadro 1). El grado de relación entre las variables consideradas se midió por medio del Coeficiente Correlación Lineal de Pearson, para la validez estadística de correlación entre dichas variables se consideró un nivel de significación ( $\alpha$ ) de 5 %.

**Cuadro 1.** Variables consideradas en la evaluación del daño por viento.

SITUACIÓN	VARIABLE
<b>Bosque Virgen</b>	Densidad (árb/ha) Área basal (m <sup>2</sup> /ha) Volumen bruto (m <sup>3</sup> /ha) Diámetro cuadrático medio (DCM) Índice de esbeltez (IE) Índice de madurez (IM)
<b>Cosecha</b>	Intensidad de Corta: árboles cosechados (%) Intensidad de Corta área basal extraída (%)
<b>Dosel de Protección</b>	Densidad (árb/ha) Área basal (m <sup>2</sup> /ha) Volumen bruto (m <sup>3</sup> /ha) Diámetro cuadrático medio (DCM) Índice de esbeltez (IE) Índice de madurez (IM)
<b>Ambiental</b>	Calidad de sitio (m)

Las existencias del bosque virgen y dosel de protección fueron consideradas en dicho análisis (Cuadro 1), además de su calidad de sitio. También se incluyó el diámetro cuadrático medio (DCM) en ambas situaciones, con propósito de examinar su relación con el daño por viento observado en el área de estudio.

La relación altura/DAP fue llamada Índice de esbeltez (IE) y se estimó para cada parcela de muestreo considerando la altura de sitio (m) como la altura media de los árboles. Dicha relación se utilizó como una medida de vulnerabilidad de los árboles al daño por viento.

Con la finalidad de caracterizar cada parcela de muestreo en relación a la fase de desarrollo de los árboles presentes, y determinar si la variación en la composición del bosque manifiesta una relación con el daño por viento, se creó una nueva variable que se denominó Índice de Madurez (IM). Este indicador fue elaborado para este estudio y no ha sido utilizado anteriormente en otras investigaciones similares. Esta variable se obtuvo a partir de la proporción de las distintas fases de desarrollo presentes en el rodal, y se definió como:

$$IM = J (\%) + 2 * M(\%) + 3 * S(\%)$$

Donde: J, M y S representan la proporción de árboles juveniles, maduros y sobremaduros respectivamente (expresada en porcentaje), presentes en el rodal. Los coeficientes que amplifican a J, M y a S fueron escogidos y asignados de manera de que IM tome un valor más alto en rodales que poseen una mayor proporción de árboles maduros y sobremaduros, y remarcar esa diferencia frente a rodales donde predominan los árboles juveniles. IM puede tomar valores entre 100 y 300.

La intensidad de la cosecha (IC) se expresó en porcentaje y se obtuvo como la diferencia entre las existencias del bosque virgen y el dosel de protección. En los análisis se consideró la intensidad de corta en número de árboles, área basal y volumen.

#### 4.2.4.2 Relación entre el daño y variables topográficas

Con la finalidad de establecer la incidencia de las variables topográficas en la magnitud de daño por viento se analizó la información desde dos puntos de vista. Primero, se realizó un análisis espacial de la información de terreno mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), por medio de la sobreposición de distintas capas de información, para ello se utilizó Arcview 3.2 y las Extensiones 3D Analyst y Spatial Analyst. Por medio de esta metodología fue posible visualizar los niveles de daño por viento por exposición, pendiente y altitud en forma simultánea.

Las curvas de nivel del área de estudio se digitalizaron desde un mapa topográfico en el cual la equidistancia entre curvas fue de 20 m. El archivo digital de curvas de nivel permitió construir un Modelo Digital de Terreno<sup>2</sup> (MDT), éste corresponde a una representación tridimensional del terreno que facilita en gran medida el análisis espacial de la información. A partir del MDT construido se derivó un mapa de pendientes para el área de estudio, donde se consideraron los siguientes rangos de pendiente: <5%, entre 5 y 15%, entre 15 y 30%, entre 30 y 45%, entre 45 y 60%; y >60%.

Cada parcela de muestreo fue clasificada de acuerdo a la magnitud de daño observado en terreno y se representó como un punto claramente identificable en la cartografía elaborada, donde adicionalmente se observa la altitud, pendiente, exposición del terreno y vías de acceso.

Segundo, a partir del daño por viento observado en cada parcela de muestreo se estimó la magnitud de daño por viento para cada exposición (norte, sur y oeste), para distintos rangos de pendiente definidos previamente, y distintos rangos de altitud cada 20 m entre los 280 y 400 m.s.n.m.. Dicha información se analizó estadísticamente mediante análisis de covarianza de manera de aislar el efecto de otras variables que incidan en el daño por viento y que se identificaron mediante el análisis de correlación descrito en el punto 4.2.4.1. Los resultados por exposición, rango de pendiente y rango de altitud se resumen en gráficos y cuadros.

---

<sup>2</sup> Los Modelos Digitales de Terreno, derivan del abreviación inglesa DEM (Digital Elevation Model) y también son llamados Modelos Digitales de Elevaciones (MDE).

## 5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Caracterización del bosque original

#### 5.1.1 Existencias

Las existencias en el bosque virgen, antes de la corta de regeneración realizada en 1995, se presentan en el Cuadro 2. En promedio el bosque estaba compuesto por 381 árboles por hectárea, con un área basal de 67 m<sup>2</sup>/ha y un volumen de 684 m<sup>3</sup>/ha. El amplio rango de variación de los parámetros dasométricos se explica por la diversidad de clases de sitio y por la proporción de árboles en distintas fases de desarrollo presentes en las parcelas de muestreo.

**Cuadro 2.** Caracterización dasométrica del bosque virgen.

Calidad de sitio	Número de observaciones	Densidad árb/ha	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	Volumen Bruto (m <sup>3</sup> /ha)
<b>Regular</b> ( <20 m )	<b>1</b>	450	61,4	532,2
<b>Buenos</b> ( 20 - 24 m )	<b>27</b>	397	67,1	667,6
<b>Muy Buenos</b> ( >24 m )	<b>11</b>	334	67,1	739,1
<b>Promedio*</b>		<b>381</b>	<b>67,0</b>	<b>684,3</b>
Desviación estándar		120	13,3	127,2

#### 5.1.2 Existencias por calidad de sitio

La calidad resultó ser un parámetro muy variable en el área de estudio. Se determinaron alturas que variaron entre 18 y 29 m, siendo más habitual encontrar rodales en torno de 23 m de altura. Dado que las parcelas de inventario silvícola fueron distribuidas en forma sistemática en el área de estudio, las calidades de sitio registradas no resultaron homogéneamente representadas. Por las diferencias en calidades de sitio se consideró pertinente desagregar los resultados obtenidos en tres categorías donde se consideraron:

- Sitios de calidad regular: aquellos bosques cuyos árboles dominantes en fase de envejecimiento y desmoronamiento tenían alturas menores de 20 m.
- Sitios de buena calidad: aquellos bosques cuyos árboles dominantes tenían alturas entre 20 y 24 m.
- Sitios de muy buena calidad: aquellos bosques cuyos árboles dominantes tenían alturas sobre los 24 m.

El Cuadro 2 muestra las existencias promedio para cada una de las categorías de sitio definidas. Los datos recogidos en el área de estudio señalan la tendencia de que se reduzca la densidad de árboles y aumente el volumen total del rodal en la medida que mejora la calidad de sitio. Esta situación se puede explicar considerando que en aquellos

lugares donde los suelos son más profundos, más fértiles, con buen drenaje y que cuentan con protección contra la acción del viento, los árboles encuentran condiciones más favorables para su desarrollo y lo expresan alcanzando mayores dimensiones tanto en altura y diámetro, por ello concentran mayor volumen individual y global a nivel de rodal. Una situación opuesta se observó en sitios de menor calidad, donde existe una mayor densidad de individuos, de menores dimensiones y un volumen menor por hectárea.

Por otra parte, los resultados obtenidos no permiten establecer alguna relación entre la variación observada en área basal en función de la calidad de sitio.

### 5.1.3 Existencias por clase diamétrica y fase de desarrollo de los árboles

El bosque natural estaba compuesto preferentemente por árboles maduros (51,5%) y árboles sobremaduros (35%) y una baja proporción de árboles juveniles (13,5%) (Cuadro 3).

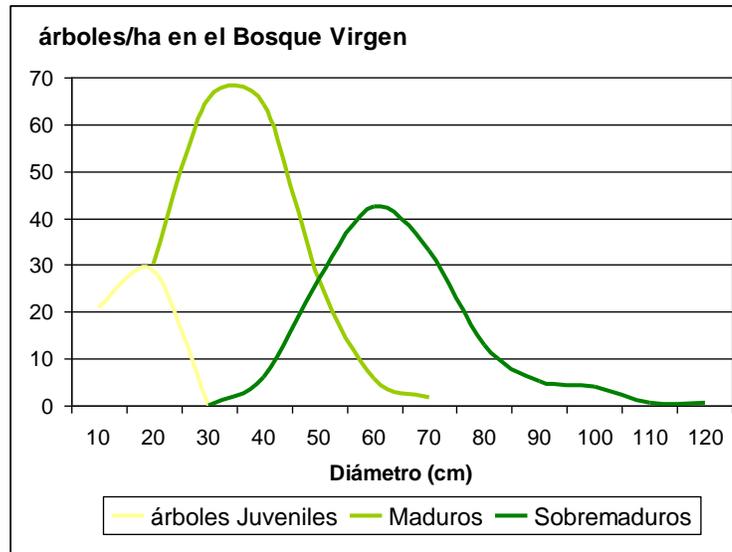
**Cuadro 3. Distribución de las existencias del bosque natural por fase de desarrollo y clase diamétrica de los árboles.**

Bosque Natural	Densidad (árboles/ha)				Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)				Volumen bruto (m <sup>3</sup> /ha)			
	Árboles				Árboles				Árboles			
	Juv.	Mad.	Sobrem.	Total	Juv.	Mad.	Sobrem.	Total	Juv.	Mad.	Sobrem.	Total
10-20	42	4		46	0,7	0,1		0,8	7,4	1,1		8,3
20-30	9	57		66	0,4	2,8		3,2	3,9	29,4		33,2
30-40		66	3	69		6,3	0,3	6,6	0,3	65,5	2,7	68,3
40-50		52	14	66		7,9	2,4	10,2		80,5	24,5	104,7
50-60		14	37	52		3,3	8,9	12,1		33,3	90,5	123,6
60-70		3	43	46		1,0	14,2	15,2		10,4	145,6	155,8
70-80			19	19			8,1	8,2			80,1	81,1
80-90			9	9			5,0	5,0			52,1	52,1
90-100			4	4			2,6	2,6			25,9	25,9
100-110			3	3			2,0	2,0			20,0	20,0
110-120			1	1			0,5	0,5			4,8	4,8
120+			1	1			0,6	0,6			6,3	6,3
Total	51	196	134	381	1,1	21,3	44,6	67,0	11,6	220,2	452,6	684,3
	13,4%	51,4%	35,2%		1,6%	31,9%	66,5%		1,7%	32,2%	66,1%	

Los árboles sobremaduros representan un tercio de la densidad total, sin embargo concentran prácticamente dos tercios del área basal y del volumen del bosque (Cuadro 4).

La dispersión diamétrica de la densidad de cada fase de desarrollo en el bosque natural (Figura 5), muestra que en particular los árboles sobremaduros presentaron un amplio rango diamétrico que varió entre 30 y 120 cm. La amplitud de la dispersión diamétrica que puede alcanzar cualquier fase de desarrollo dependerá por una parte, de la calidad del sitio en que crece el bosque, de su estructura y estado de desarrollo. En este sentido se puede agregar que en sitios con mayores restricciones (ya sea de drenaje, fertilidad, profundidad de suelo, o exposición al viento), los árboles alcanzan menores

dimensiones en altura y diámetro, que aquellos que se desarrollan en condiciones más favorables.



**Figura 5.** Distribución del número de árboles por hectárea por fase de desarrollo y clase diamétrica en el bosque virgen.

La distribución de frecuencias de los árboles en cada fase de desarrollo mostró una tendencia normal (Figura 6), considerando una escala temporal puede interpretarse como un reemplazo generacional, pues existe integración y mortalidad de individuos, disminuyendo progresivamente el número de árboles en las etapas finales de desarrollo.

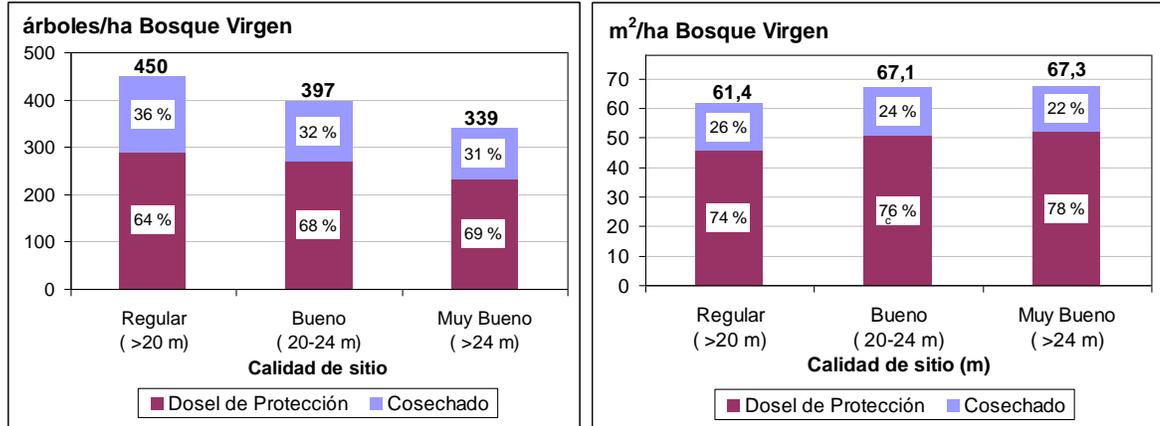
## 5.2 Cosecha y Dosel de Protección

### 5.2.1 Existencias en el dosel de protección e intensidad de corta

La intensidad de cosecha fue baja. En promedio casi un tercio (32%) de los árboles del bosque natural fueron extraídos, equivalente a 24% de las existencias en área basal y volumen. El dosel de protección se mantuvo 258 árboles por hectárea, 51 m<sup>2</sup>/ha de área basal y 519,5 m<sup>3</sup>/ha de volumen. Un análisis de covarianza permitió determinar que entre las diferentes calidades de sitio no existen diferencias estadísticas significantes en la magnitud de la cosecha en relación a las existencias del bosque natural (tanto en número de árboles, área basal y volumen). Adicionalmente, mediante análisis de varianza se estableció que las existencias del dosel de protección en número de árboles, área basal y volumen, no presentaron diferencias entre las distintas categorías de sitio.

### 5.2.2 Cosecha y dosel de protección por calidad de sitio

La intensidad de corta de los bosques fue baja en todas las categorías de sitio y varió entre 31 y 36% en número de árboles y entre 22 y 26% del área basal (Figura 6 y 7), la extracción en volumen del bosque natural presentó el mismo rango de variación.



**Figura 6 y 7.** Distribución de la densidad y área basal total por hectárea, por clase de sitio, e intensidad de la cosecha en cada una de ellas.

La intensidad de corta en número de árboles, área basal (Figuras 6 y 7) y volumen tendió a aumentar en los sitios de menor calidad. Ello obedece a que en aquellos lugares la densidad de árboles en el bosque virgen fue mayor, por lo que para conservar una cobertura y distanciamiento homogéneos en el dosel de protección, se cosechó una mayor proporción de individuos, lo que se reflejó también en el área basal y volumen cosechado. Aún cuando en sitios de mejor calidad se cosechó una menor proporción de árboles, el volumen cosechado aumentó en mayor medida variando entre 140 y 168 m<sup>3</sup>/ha (Cuadro 4). Ello se debe a que en aquellos sitios, aunque se extrajeron menos árboles, éstos individualmente fueron de mayores dimensiones, por lo que concentraron un mayor volumen total.

**Cuadro 4.** Existencias del bosque virgen, cosecha y dosel de protección por clase de sitio.

	Densidad (árboles/ha)			Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)			Volumen (m <sup>3</sup> /ha)		
	Calidad de Sitio			Calidad de Sitio			Calidad de Sitio		
	Regular (< 20 m)	Bueno (20-24 m)	Muy Bueno (> 24 m)	Regular (< 20 m)	Bueno (20-24 m)	Muy Bueno (> 24 m)	Regular (< 20 m)	Bueno (20-24 m)	Muy Bueno (> 24 m)
<b>Bosque Virgen</b>	450	397	334	61,4	67,1	67,1	532,2	667,6	739,1
<b>Cosecha</b>	160	127	106	16,0	16,3	15,1	140	164,4	168
<b>Dosel de Protección</b>	290	270	227	45,4	50,8	52,0	392,1	503,2	571,2

Por otra parte, dada la marcada diferencia en el volumen total (m<sup>3</sup>/ha) del bosque virgen entre las distintas categorías de sitio presentadas en el Cuadro 4, la cosecha en rodales de mejor calidad tuvo un rendimiento 20% superior al registrado en los sitios de calidad más baja.

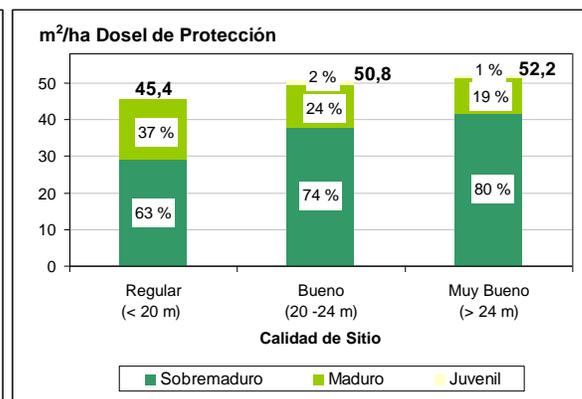
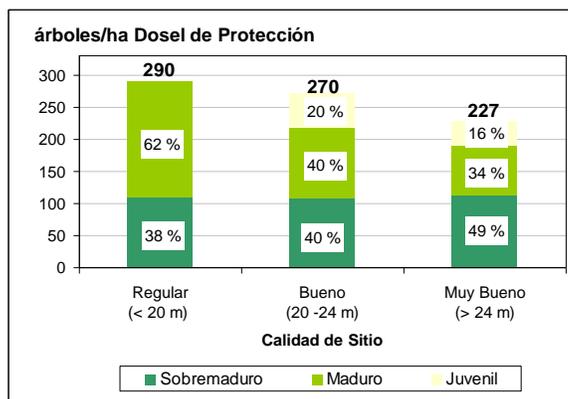
La densidad de árboles en el dosel de protección varió entre 227 y 290 árboles por hectárea entre las distintas categorías de sitio, conservando un menor número de individuos en sitios de mejor calidad. El área basal y volumen en el dosel de protección

aumentó en la medida que mejoró la calidad de sitio, variando entre 45 y 52 m<sup>2</sup>/ha y 392 y 571 m<sup>3</sup>/ha (Cuadro 5). Estas cifras muestran que entre las categorías de sitio más baja y más alta, el dosel de protección mantuvo diferencias del 28% en número de árboles, 15% en área basal y 46% en volumen.

**Cuadro 5.** Composición del bosque virgen, cosecha y dosel de protección por fase de desarrollo de los árboles.

	Fase de desarrollo de los árboles	Bosque Virgen		Cosecha		Dosel de Protección	
<b>Densidad (árboles/ha)</b>	Juveniles	51	13%	3	3%	48	19%
	Maduros	196	52%	94	77%	102	39%
	Sobremaduros	133	35%	25	21%	108	42%
	<b>Total</b>	<b>381</b>	<b>100%</b>	<b>122</b>	<b>100%</b>	<b>258</b>	<b>100%</b>
		(100%)		(32,1%)		(67,9%)	
<b>Area Basal (m<sup>2</sup>/ha)</b>	Juveniles	1,1	2%	0	1%	1	2%
	Maduros	21,3	32%	10	61%	12	23%
	Sobremaduros	44,6	67%	6	38%	39	75%
	<b>Total</b>	<b>67,0</b>	<b>100%</b>	<b>16,0</b>	<b>100%</b>	<b>51,0</b>	<b>100%</b>
		(100%)		(23,9%)		(76,1%)	
<b>Volumen Bruto (m<sup>3</sup>/ha)</b>	Juveniles	11,6	2%	0,8	0%	10,8	2%
	Maduros	220,2	32%	101,6	62%	118,5	23%
	Sobremaduros	452,6	66%	62,4	38%	390,2	75%
	<b>Total</b>	<b>684,4</b>	<b>100%</b>	<b>164,8</b>	<b>100%</b>	<b>519,5</b>	<b>100%</b>
		(100%)		(24,1%)		(75,9%)	

Para el dosel de protección entre las diversas clases de sitio se reconocieron además diferencias en la composición por fase de desarrollo. Los rodales de mejor calidad de sitio presentaron una menor densidad total de árboles y una mayor proporción de árboles sobremaduros, lo que también se refleja en un aumento del área basal y volumen del dosel de protección. (Figuras 8 y 9).



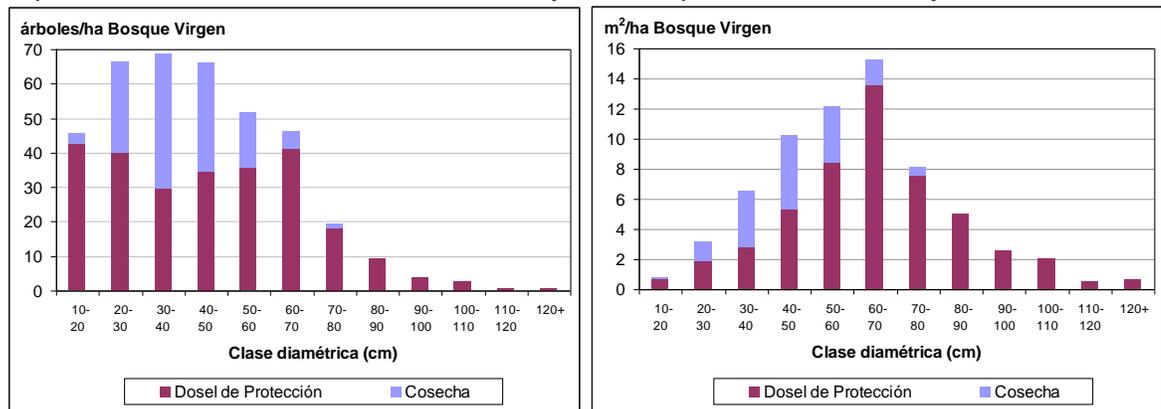
**Figuras 8 y 9.** Densidad y área basal del dosel de protección por fase de desarrollo para diferentes categorías de sitio.

En sitios de mejor calidad aumentó a proporción de árboles sobremaduros, oscilando entre el 38 y 49% respecto del total en el dosel de protección y disminuyó la proporción de árboles maduros, la que varió entre 34 y 62%. (Figura 8). Sin embargo, en todas las categorías de sitio la mayor parte del área basal (Figura 9) y volumen del dosel de protección se concentró en árboles sobremaduros, aumentando desde 63% en la categoría de sitio más baja, hasta 80% en los rodales de mejor calidad, ese incremento se debe al aumento en la proporción de dicha fase en sitios de mejor calidad.

### 5.2.3 Cosecha y dosel de protección por fase de desarrollo y clase diamétrica de los árboles

El bosque residual quedó compuesto preferentemente por árboles sobremaduros y maduros en una proporción de 42 y 39% respectivamente. Aunque existe una pequeña diferencia en la proporción de árboles maduros y sobremaduros en el dosel de protección, fueron los árboles sobremaduros los que concentraron el 75% del área basal y volumen total. La contribución al área basal y volumen de los árboles maduros y juveniles fue de 23 y 2% respectivamente (Cuadro 5).

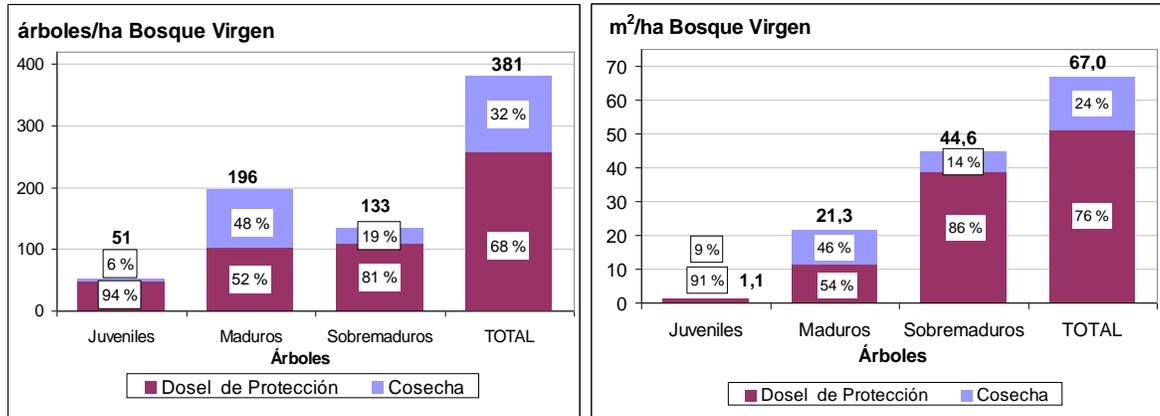
En el dosel de protección el diámetro de los árboles varió entre los 10 y 125 cm, sin embargo la mayoría de los árboles no superó los 70 cm (Figura 10), valor hasta el cual se refleja un aumento en el aporte en área basal (Figura 11), las clases diamétricas superiores tuvieron una menor frecuencia y menor aporte al área basal y volumen total.



**Figuras 10 y 11.** Intensidad de la cosecha por clase diamétrica, en número de árboles y área basal.

La mayor proporción de árboles cosechados correspondió a árboles maduros (76,9%), fase que también concentró la mayor proporción del área basal y volumen cosechado (61,4 y 61,7% respectivamente), ya que dicha fase fue la más abundante en el bosque natural (Cuadro 5). Los resultados muestran que del total de árboles maduros presentes en el bosque natural un 48% fue cosechado, y que sólo un 18,8% de los árboles sobremaduros del bosque virgen se extrajo en la cosecha. Estas cifras indican que en la intervención se trató de mantener árboles sobremaduros en el dosel de

protección. Por su parte un 6% del total de árboles juveniles del bosque virgen fue extraído (Figuras 12 y 13).



**Figuras 12 y 13.** Existencias en el bosque virgen, composición de la cosecha y dosel de protección en número de árboles y área basal por hectárea, por fase de desarrollo de los árboles.

La cosecha se concentró en árboles de entre 20 y 60 cm de diámetro. Los árboles de diámetros mayores a 80 cm no fueron cosechados (Figuras 10 y 11). La experiencia práctica indica que este tipo de individuos normalmente presenta una abundante pudrición central que incide en un muy bajo rendimiento de volumen industrial. Por otra parte este tipo de árboles contribuyen a dar mayor estabilidad al dosel de protección debido a que, y estaban expuestos al viento en el bosque natural y por lo tanto cuentan con un sistema radicular más extenso y adaptado a las exigencias que los árboles maduros y juveniles (Schmidt y Caldentey, 1994).

### 5.3 Estabilidad del bosque luego de la corta de regeneración

#### 5.3.1 Caracterización general del daño

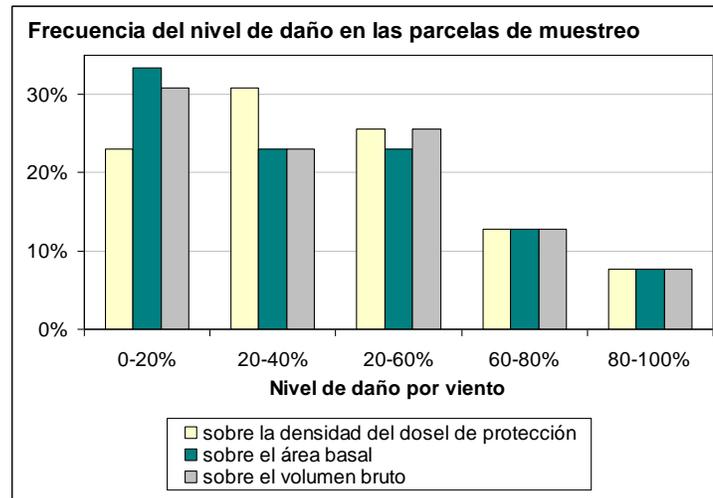
Los resultados obtenidos permiten concluir que la intervención del bosque generó condiciones de inestabilidad en el rodal residual frente a la acción del viento, lo que se tradujo en una importante reducción en la densidad del dosel de protección y en el rendimiento comercial en intervenciones futuras (corta final).

Se determinó que tras 4 años de realizada la corta de regeneración el viento causó pérdidas por mortalidad sobre el dosel de protección equivalentes a 39% del número de árboles, 36% del área basal y 35% del volumen. Éstos daños representan una reducción del dosel de protección, adicional a la cosecha de 26,5% en número de árboles y de 27,3% del área basal original. En síntesis, al momento de la evaluación, la cosecha y el daño por viento significaron una disminución en conjunto de 59%, 51% y 51% en número de árboles, área basal y volumen respectivamente, en relación a las existencias del bosque virgen.

No obstante lo anterior, se hace hincapié en que aunque el valor promedio de reducción en área basal y volumen producto de la cosecha y lo afectado por viento, fue de

51%, que es lo que en general se extrae en cortas de regeneración, enmascara en cierta medida la situación de rodales en los que al momento de la evaluación conservaron sólo el 10% del área basal y volumen del dosel de protección.

El nivel de daño fue muy variable para los parámetros evaluados y oscilo entre 0 y 90%. El 21% de los rodales estudiados presentó niveles de daño superior al 60%. (Figura 14).



**Figura 14.** Frecuencia de distintos niveles de daño en las parcelas de muestreo del área de estudio.

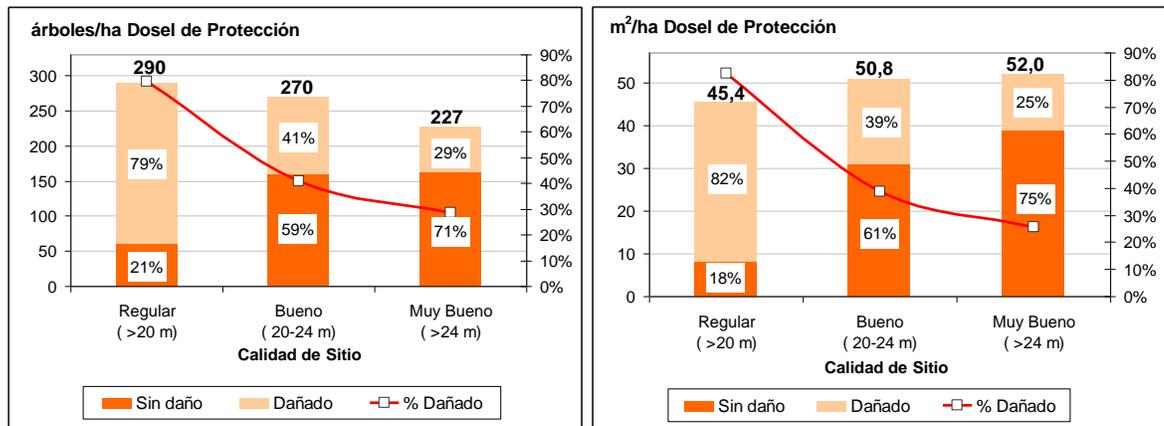
### 5.3.1.1 Daño por calidad de sitio

Los resultados mostraron diferencias en la magnitud del daño de los árboles en el dosel de protección en relación con la calidad de sitio. El daño en número de árboles, área basal y volumen afectado fue menor en los sitios de mejor calidad (Cuadro 6 y Figuras 15 y 16). Lo anterior resulta contrapuesto a lo determinado por otros autores, en relación a que es esperable un mayor nivel de daño conforme aumenta la altura de los árboles (Drouineau, *et al.* 2000), aunque otras investigaciones no establecen relación entre la calidad de sitio y la magnitud del daño (Herrera, 2000).

Mediante un análisis de covarianza se determinó que entre las distintas categorías de sitio no existen diferencias estadísticamente significantes ( $\alpha=5\%$ ). El análisis de covarianza se justifica dado que la magnitud de daño depende de las existencias del dosel de protección.

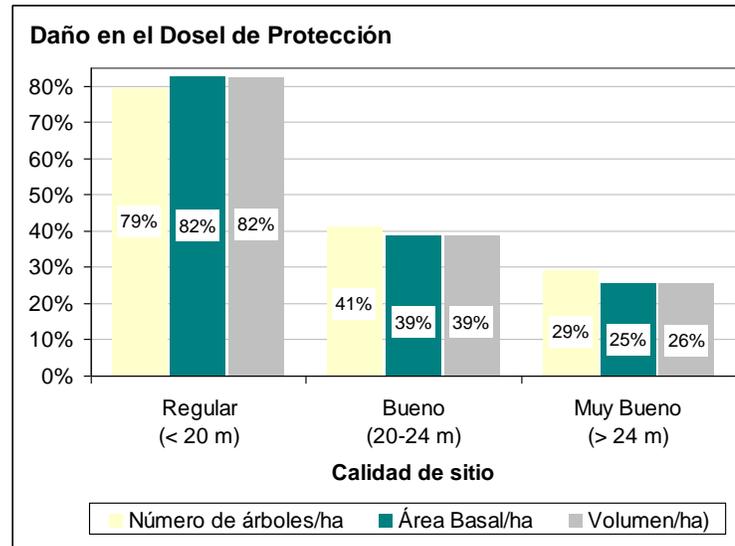
**Cuadro 6.** Existencias y magnitud del daño causado por el viento en el dosel de protección en función de la calidad de sitio.

	Densidad (árboles/ha)			Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)			Volumen (m <sup>3</sup> /ha)		
	Calidad de Sitio			Calidad de Sitio			Calidad de Sitio		
	Regular (< 20 m)	Bueno (20-24 m)	Muy Bueno (> 24 m)	Regular (< 20 m)	Bueno (20-24 m)	Muy Bueno (> 24 m)	Regular (< 20 m)	Bueno (20-24 m)	Muy Bueno (> 24 m)
<b>Dosel de Protección (1995)</b>	290	270	227	45,4	50,8	52,0	392,1	503,2	571,2
<b>Dañado (1998)</b>	230	110	65	37,4	19,7	13,2	322,6	194,0	145,7
<b>Residual (1999)</b>	60	160	162	8,0	31,1	38,8	69,5	309,2	425,4



**Figura 15 y 16.** Magnitud del daño por viento sobre la densidad y área basal del dosel de protección por calidad de sitio.

Considerando las diferencias existentes en la densidad del dosel de protección en cada categoría de sitio, para efectuar comparaciones la magnitud de daño viento se analizó en términos porcentuales, determinando que la proporción de árboles dañados varió entre 29 y 79% entre las categorías de sitio. El daño en área basal y volumen resultaron muy similares en la misma categoría de sitio, oscilando entre 25 y 82% de las existencias del dosel de protección. Estas cifras señalan que en términos de árboles por hectárea, el daño observado en la categoría de sitio más baja resultó 2,8 veces superior al registrado en la mejor calidad de sitio. En área basal y volumen afectados estas diferencias fueron de 3,2 veces (Figura 17).



**Figura 17.** Intensidad del daño por viento en el dosel de protección, en función de la calidad de sitio.

Se concluye que si bien existen diferencias en la densidad de árboles en el dosel de protección entre las distintas categorías de sitio analizadas, éstas no alcanzan a superar las diferencias registradas en la magnitud de daño en árboles por hectárea, área basal y volumen, por ello los bosques con calidad de sitio menor, aparentemente serían más vulnerables a sufrir daño frente a una tormenta de viento.

Las diferencias detectadas en la magnitud de daño para las distintas calidades de sitio pueden explicarse considerando dos aspectos complementarios: uno es la densidad del dosel de protección (y del bosque natural) y otro es la composición por fases de desarrollo en cada una de esas situaciones. Por una parte se tiene que los rodales de calidad de sitio más baja presentaron una mayor densidad tanto en el bosque virgen como en el dosel de protección, ello les otorga una menor estabilidad individual a los árboles. En rodales densos la estabilidad está dada en forma colectiva, esto es lo que Drouineau (2000) denomina “efecto de bloque”. Éste efecto se refiere a que en rodales densos, la estabilidad de los árboles depende del apoyo lateral de sus copas y del entrecruzamiento de las raíces con la de los árboles vecinos, al extraer algunos individuos esta condición se pierde, dejando bruscamente expuestos los árboles a una situación que no les es habitual, por lo que probablemente frente a una tormenta de viento muchos de esos árboles resulten caídos o con algún otro daño producto de la acción del viento. En el extremo contrario se encuentran los rodales de menor densidad donde los árboles por largo tiempo se han desarrollado con una mayor exposición individual a la acción del viento lo que finalmente se traduce en una mayor estabilidad de cada árbol y también del rodal.

Por otra parte, las diferencias en la composición por fase de desarrollo de los árboles entre las distintas categorías de sitios presentadas en el punto 5.2.2 (Figuras 8 y 9), mostraron que los rodales de calidad de sitio más baja presentaron una mayor proporción de árboles maduros, los que de acuerdo a lo señalado en el punto 5.3.1.2, son individualmente más vulnerables al daño por viento, y ello se refleja en mayor daño total para esas clases de sitio.

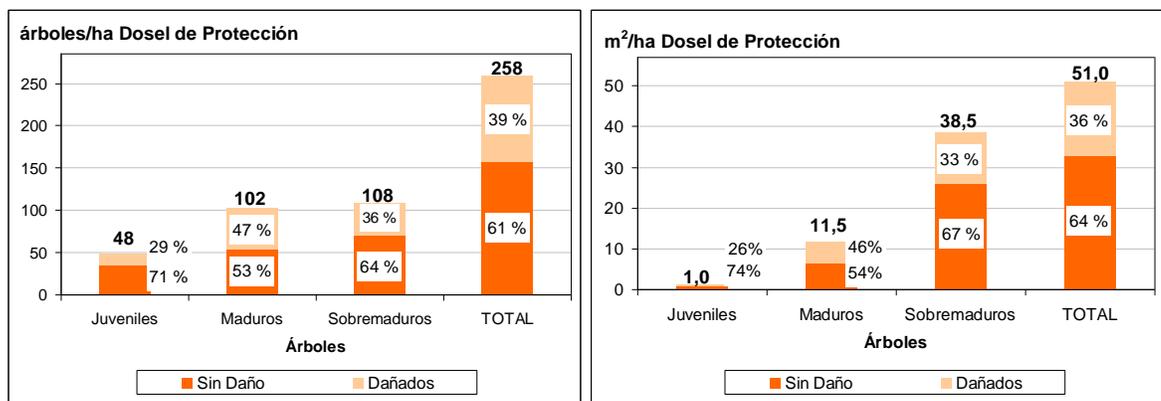
En general es esperable un aumento de las pérdidas por viento en la medida que los rodales presentan una mejor calidad de sitio. Ello se debe a que por ser los individuos más altos en aquellos sectores, el viento genera un mayor esfuerzo (torque) que es transmitido a la base del árbol, el que puede generar la caída y/o quiebre de los fustes. A esto se debe agregar otros factores que influyen en el daño sobre el dosel de protección, tales como características de los suelos (profundidad, textura, drenaje), la topografía local, la cercanía a áreas descubiertas (incluyendo caminos y vías menores) y el daño producido por las máquinas durante la cosecha y la intensidad y duración de la tormenta (Stathers *et al.*, 1994; Quine *et al.*, 1995; Drouineau *et al.*, 2000), muchos de los cuales no fueron incluidos en este estudio.

Otro elemento a considerar es que la mayor parte de los rodales de mejor calidad de sitio se ubicaron en exposiciones norte y sur, por lo que contaron con mayor protección frente a los vientos dominantes (Figura 26), y registraron una menor magnitud de daño. La magnitud del daño por viento en función de la calidad de sitio en combinación con variables topográficas, se discute con más detalle en el punto 5.3.2.2.

Finalmente, por la forma en que se desarrolló el muestreo en terreno, las calidades de sitio no quedaron igualmente representadas, ni tampoco su distribución en las distintas exposiciones consideradas, por ello, es probable que el desequilibrio en el número de unidades muestrales para cada categoría de sitio haya afectado los resultados obtenidos.

### 5.3.1.2 Daño por fase de desarrollo de los árboles

Los árboles del dosel de protección en todas las fases de desarrollo fueron afectados por la acción del viento (Figura 19 y 20). Los árboles maduros fueron los más afectados, con un 47% en número de árboles. Le siguen con 36% de los árboles sobremaduros, y los juveniles con 29% de los árboles.



**Figura 18 y 19.** Densidad y área basal totales por fase de desarrollo, y proporción de daño por viento al interior de cada una de ellas.

Sin embargo, como se muestra en el Cuadro 7, el 69% del área basal y volumen dañado se concentró en los árboles sobremaduros. Esto se explica porque en esa fase de desarrollo representa el 75% del área basal y volumen del dosel de protección.

**Cuadro 7.** Composición del dosel de protección, fracción dañada por viento y bosque residual por fase de desarrollo de los árboles.

	Fase de desarrollo de los árboles	Dosel de Protección (1995)		Dañado (1998)		Residual (1999)	
<b>Densidad árb/ha</b>	Juveniles	48	19%	14	14%	34	22%
	Maduros	102	40%	48	48%	54	34%
	Sobremaduros	108	42%	38	38%	70	44%
	<b>Total</b>	<b>258</b>	100%	<b>100</b>	100%	<b>158</b>	100%
<b>Area Basal (m<sup>2</sup>/ha)</b>	Juveniles	1,0	2%	0,3	2%	0,8	2%
	Maduros	11,5	23%	5,3	29%	6,2	19%
	Sobremaduros	38,5	75%	12,7	69%	25,8	79%
	<b>Total</b>	<b>51,0</b>	100%	<b>18,3</b>	100%	<b>32,8</b>	100%
<b>Volumen Bruto (m<sup>3</sup>/ha)</b>	Juveniles	10,8	2%	2,8	2%	8,1	2%
	Maduros	118,5	23%	54,9	30%	63,7	19%
	Sobremaduros	390,2	75%	126,0	69%	264,1	79%
	<b>Total</b>	<b>519,5</b>	100%	<b>183,7</b>	100%	<b>335,8</b>	100%

Con el propósito de determinar si la fase de desarrollo predispone a los árboles a sufrir daño por acción del viento, se comparó, mediante un análisis de covarianza, la cantidad de árboles dañados en cada fase de desarrollo, respecto del total de ellos en el dosel de protección. Los resultados mostraron que la magnitud de daño entre árboles en distinta fase de desarrollo difiere estadísticamente, los árboles juveniles registraron los niveles más bajos de daños, el nivel más alto se observó en árboles maduros, los árboles sobremaduros mostraron un comportamiento intermedio.

El mismo análisis realizado por categorías de sitio no permiten emitir una conclusión definitiva, pues en sitios buenos se determinó que existen diferencias estadísticamente significantes en la magnitud de daño por viento registrado en las diferentes fases de desarrollo, sin embargo, ello no se comprobó para los rodales en la más alta calidad de sitio. La calidad de sitio más baja no pudo ser analizada por no tener contar con suficientes observaciones.

Los menores niveles de daño presentado por árboles juveniles puede explicarse en parte a que ellos son más flexibles ante la acción del viento, y el balanceo les permite disipar energía (Stathers, et al. 1994). Por otra parte poseen una altura más baja, por lo que requieren de velocidades del viento más altas para generar un esfuerzo suficiente como para desarraigar el árbol o quebrar el fuste (Peltola y Kellomäki, 1993). Por otra parte, menor vulnerabilidad al daño por viento de los árboles sobremaduros, se explica por su prolongada exposición en el tiempo al viento, ello le otorga en mayor o menor medida una más alta resistencia a resultar dañado por acción del viento (Schmidt y Caldentey, 1994).

Se analizó la frecuencia de cada una de las categorías de daño, sobre el total de árboles dañados en dosel de protección. Estos resultados se muestran en los Cuadros 8, 9, 10 y Figuras 20 y 21. Se determinó que la caída de árboles fue el tipo de daño más frecuente observado en todas las fases de desarrollo, concentró el 66% del total de árboles, área basal, y volumen que resultó afectado en el dosel de protección.

**Cuadro 8.** Distribución del número de árboles dañados por viento, por tipo de daño y fase de desarrollo de los árboles.

Fase de desarrollo de los árboles	Densidad (árboles/ha)											
	Dosel de Protección (1995)		Dosel de Protección (1999)									
			Sin Daño		Total Dañado		Tipo de daño					
	Caídos						Quebrados		Muertos			
Juveniles	48	100%	34	71%	14 (100%)	29%	9	20% (69%)	2	4% (15%)	2	5% (17%)
Maduros	102	100%	54	53%	48 (100%)	47%	34	33% (70%)	12	12% (25%)	2	2% (5%)
Sobremaduros	108	100%	70	64%	38 (100%)	36%	24	22% (61%)	13	12% (35%)	2	1% (4%)
<b>TOTAL</b>	<b>258</b>	<b>100%</b>	<b>158</b>	<b>61%</b>	<b>101 (100%)</b>	<b>39%</b>	<b>67</b>	<b>26% (66%)</b>	<b>28</b>	<b>11% (27%)</b>	<b>6</b>	<b>2% (6%)</b>

**Cuadro 9.** Distribución del área basal dañada por viento, por tipo de daño y fase de desarrollo de los árboles.

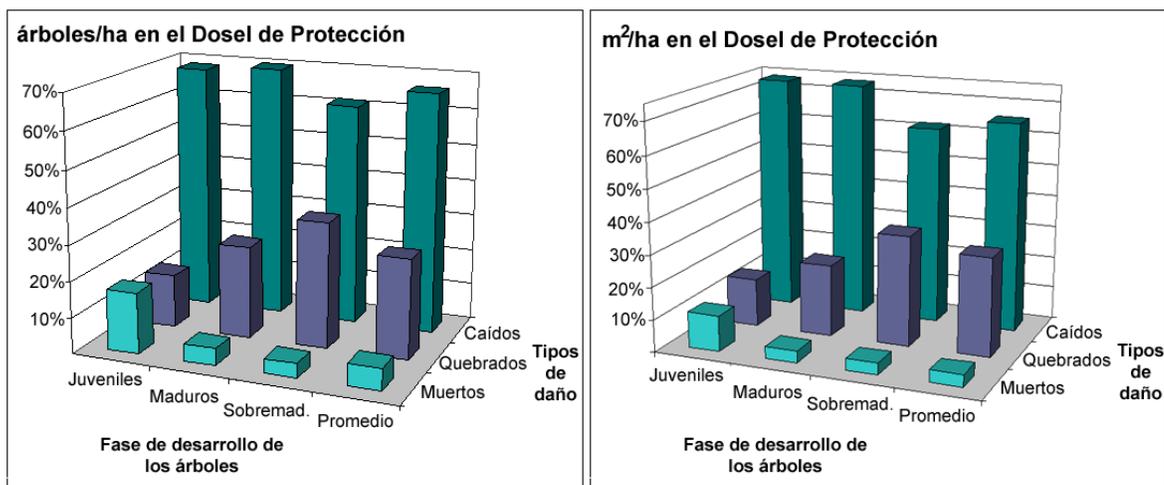
Fase de desarrollo de los árboles	Area basal (m <sup>2</sup> /ha)											
	Dosel de Protección (1995)		Dosel de Protección (1999)									
			Sin Daño		Total Dañado		Tipo de daño					
	Caídos						Quebrados		Muertos			
Juveniles	1,0	100%	0,8	74%	0,3 (100%)	26%	0,2	19% (74%)	0,04	4% (15%)	0,03	3% (11%)
Maduros	11,5	100%	6,2	54%	5,3 (100%)	46%	3,9	34% (74%)	1,2	10% (23%)	0,2	2% (4%)
Sobremaduros	38,5	100%	25,8	67%	12,7 (100%)	33%	7,9	21% (62%)	4,4	11% (34%)	0,5	1% (4%)
<b>TOTAL</b>	<b>51,0</b>	<b>100%</b>	<b>32,7</b>	<b>64%</b>	<b>18,3 (100%)</b>	<b>36%</b>	<b>12,0</b>	<b>24% (66%)</b>	<b>5,6</b>	<b>11% (30%)</b>	<b>0,7</b>	<b>1% (4%)</b>

**Cuadro 10.** Distribución del volumen dañado por viento, por tipo de daño y fase de desarrollo de los árboles.

Fase de desarrollo de los árboles	Volumen Bruto s.c.c. (m <sup>3</sup> /ha)											
	Dosel de Protección (1995)		Dosel de Protección (1999)									
			Sin Daño		Total Dañado		Tipo de daño					
	Caídos						Quebrados		Muertos			
Juveniles	10,8	100%	8,1	74%	2,8 (100%)	26%	2,0	19% (74%)	0,42	4% (15%)	0,31	3% (11%)
Maduros	118,5	100%	63,7	54%	54,9 (100%)	46%	40,3	34% (73%)	12,5	10% (23%)	2,0	2% (4%)
Sobremaduros	390,2	100%	264,1	68%	126,0 (100%)	32%	78,5	20% (62%)	42,9	11% (34%)	4,7	1% (4%)
<b>TOTAL</b>	<b>519,5</b>	<b>100%</b>	<b>335,8</b>	<b>65%</b>	<b>183,7 (100%)</b>	<b>35%</b>	<b>120,8</b>	<b>23% (66%)</b>	<b>55,8</b>	<b>11% (30%)</b>	<b>7,0</b>	<b>1% (4%)</b>

Si bien en la metodología utilizada, se consideró la categoría de árboles apoyados, en el análisis del tipo de daño por viento sobre el dosel de protección, ellos fueron incluidos dentro de la contabilización de árboles caídos. El hecho de que un árbol resulte parcialmente desarraigado y apoyado sobre otro, dependerá en cierta medida de la densidad del dosel de protección, en el sentido de que existan otros árboles residuales ubicados en la dirección de caída y que además éstos resistan la carga de otro árbol. De lo anterior se desprende que en rodales suficientemente abiertos la presencia de árboles apoyados dependerá del casi exclusivamente del azar.

El análisis de las Figuras 20 y 21, indica que por cada 100 árboles dañados en cada fase, los árboles juveniles y maduros presentaron una mayor proporción de árboles caídos y muertos en pie, la que disminuye hacia los árboles sobremaduros, este comportamiento se determinó tanto para el número de árboles, área basal y volumen afectado. Se reconoce además que la proporción los árboles quebrados aumentó hacia los árboles sobremaduros, la que en número de árboles, área basal y volumen, duplicó la registrada para los árboles juveniles.



**Figura 20 y 21.** Proporción del número de árboles y área basal dañada en el dosel de protección por tipo de daño, por cada 100 árboles en cada fase de desarrollo.

La caída de árboles, se produce debido a que la fuerza del por el viento supera la fuerza de sujeción de las raíces al suelo, y el propio peso del conjunto suelo-raíz. La fuerza del viento hace que el árbol tambalee desplazando su centro de gravedad, si ese desplazamiento supera un punto crítico, el árbol finalmente cae (Quine *et al.*, 1995). En particular, los árboles maduros y sobremaduros poseen una copa más amplia y densa que ofrece una mayor resistencia al viento, si el árbol fuese inclinado por acción del viento es más probable que éste caiga pues su copa es más pesada y las fuerzas de sujeción no son suficientes para mantener el árbol en pie. Esta situación se ve agravada, cuando la caída previa de algún árbol en el rodal ha causado daño parcial sobre las copas de los árboles aún quedan en pie, generando asimetrías en la distribución de la copa de los árboles residuales.

La gran cantidad de árboles caídos con sus raíces expuestas (descalces) en el área de estudio mostró la escasa profundidad del suelo, lo que unido a la presencia de un estrato pedregoso, representan inconvenientes para el desarrollo de un sistema radicular adecuado que permita una mayor estabilidad de los árboles frente a la acción del viento.

Bajo estas condiciones los árboles desarrollaron un sistema radicular superficial preferentemente horizontal, donde no se aprecia la presencia de una raíz pivotante, y donde existió principalmente desarrollo lateral de raíces las que se entrecruzaron con las de árboles vecinos (Figuras 22 y 23).



**Figura 22 y 23.** Extensión lateral del sistema radicular y profundidad del enraizamiento en árboles caídos.

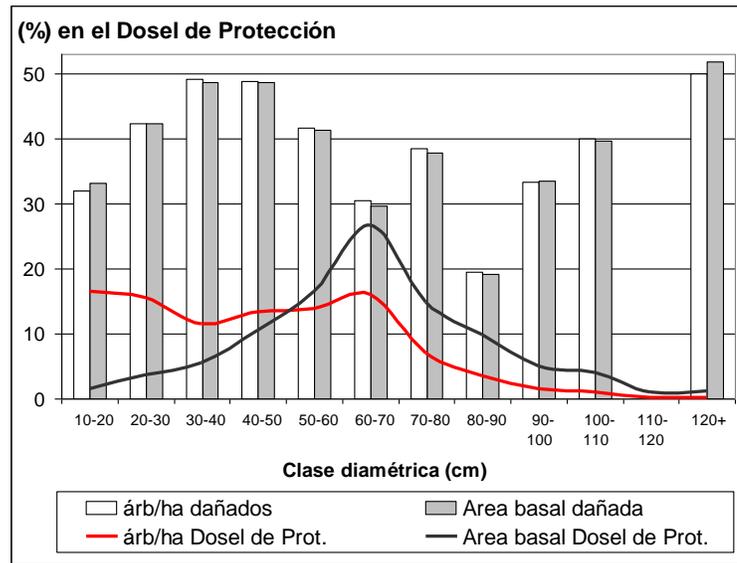
El mayor número de árboles quebrados registrado para los árboles sobremaduros, puede estar asociado a que ellos poseen un mayor desarrollo radicular que los árboles maduros y juveniles, y por lo tanto una mejor sujeción al suelo. Sin embargo estas fases de desarrollo habitualmente presentan pudrición central en el fuste, que hace que la parte baja de él tenga una menor resistencia a la flexión haciendo que éste se quiebre frente al esfuerzo mecánico impuesto por el viento.

En relación a los árboles muertos en pie se aprecia que este tipo de daño fue más frecuente en árboles juveniles, que en maduros y sobremaduros. En número de árboles el daño observado en los árboles juveniles, fue de 4 veces el observado en árboles sobremaduros, en área basal y volumen y daño fue 3 veces superior.

La muerte de árboles en pie puede estar asociada a diversas razones entre las que se cuentan, primero, por la acción directa del viento o bien por la caída de otros árboles, algunos individuos resultaron con daño severo en sus copas que finalmente desencadenó su muerte. Segundo, el balanceo de los árboles durante las tormentas de viento provoca corte y quiebre de raíces y esto se menciona como otra razón asociada a la muerte de árboles en pie (Peltola y Kellomäky, 1993; Stathers *et al.*, 1994). Tercero, el tránsito de maquinaria pesada al interior del bosque provoca compactación del suelo y daña las raíces de los árboles, esto es especialmente perjudicial si los árboles desarrollan un sistema radicular superficial (Quine *et al.*, 1995). Cuarto, durante la faena de extracción de la madera del bosque se producen golpes y desprendimiento de la corteza en los árboles residuales, el daño puede ser provocado por otros árboles durante las faenas de volteo, en forma directa por las máquinas o por los troncos arrastrados (Vergara, 1996), en ocasiones este daño provoca el anillamiento y muerte del árbol afectado.

### 5.3.1.3 Daño de los árboles por clase diamétrica

Se determinó que el daño por viento afectó los árboles en todas las clases diamétricas y fue muy variable entre ellas, oscilando entre 19 y 52% respecto de la densidad, área basal y volumen total en cada clase diamétrica (Figura 24).



**Figura 24.** Distribución de las existencias y proporción de daño en el dosel de protección por clase diamétrica.

Los resultados indican que la intensidad del daño se incrementa en los árboles juveniles hasta los 30 cm de diámetro. Después se hace máxima para árboles maduros de entre 30 y 50 cm, donde el 49% de los árboles de esos diámetros resultó dañado, para comenzar a disminuir hasta árboles de 80 cm de diámetro. El aumento del daño para árboles de diámetro sobre los 80 cm se explica en parte por la escasa presencia de ellos, por lo que de resultar algún individuo dañado representa una parte importante del total de árboles de esa clase diamétrica (Figura 24).

## 5.3.2 Relación entre el daño por viento y características del bosque

### 5.3.2.1 Relación del daño con variables dasométricas en el bosque natural, la cosecha, el dosel de protección y la calidad de sitio

El análisis de regresión entre la magnitud del daño por viento (en número de árboles, área basal y volumen por hectárea) y las diferentes variables consideradas, mostró que existen pocas relaciones estadísticamente significativas, y con bajos coeficientes de correlación como se muestra en el Cuadro 11. Las únicas correlaciones significativas, con una probabilidad de error de 5% fueron entre el número de árboles dañados en el dosel de protección y: la densidad tanto en el bosque natural en el dosel de protección, el diámetro cuadrático para ambas situaciones y la calidad de sitio.

**Cuadro 11.** Coeficientes de correlación, de determinación y significancia estadística entre la intensidad del daño por viento y distintas variables consideradas.

Situación	Variable considerada	Coeficientes de Correlación lineal de Pearson					
		Número de árboles dañados (árb/ha)		Area basal dañada (m <sup>2</sup> /ha)		Vlumen bruto dañado (m <sup>3</sup> /ha)	
		r	Significación estadística (P)	r	Significación estadística (P)	r	Significación estadística (P)
Bosque Natural	Densidad	<b>0,44</b>	<b>&lt; 0.01*</b>	0,08	0,32	0,02	0,45
	Area basal	0,22	0,09	0,24	0,07	0,25	0,06
	Volumen bruto	0,09	0,30	0,20	0,11	0,25	0,06
	Diámetro cuadrático medio	<b>-0,30</b>	<b>0,03</b>	0,11	0,25	0,19	0,12
	Indice de Madurez	-0,11	0,25	0,13	0,22	0,16	0,17
	Indice de Estabilidad	-0,02	0,44	-0,19	0,12	-0,20	0,11
Cosecha	Intensidad de corta en número de árboles	0,15	0,18	0,02	0,45	0,02	0,44
	Intensidad de corta en área basal	0,24	0,07	0,07	0,33	0,06	0,35
	Intensidad de corta en volumen	0,01	0,48	-0,07	0,35	-0,07	0,34
Dosel protección	Densidad	<b>0,36</b>	<b>0,01</b>	0,10	0,26	0,04	0,39
	Area basal	0,01	0,48	0,16	0,17	0,17	0,15
	Volumen bruto	-0,01	0,47	0,16	0,17	0,20	0,11
	Diámetro cuadrático medio	<b>-0,29</b>	<b>0,04</b>	0,09	0,29	0,17	0,15
	Indice de Madurez	-0,11	0,24	0,13	0,22	0,16	0,16
	Indice de Estabilidad	0,05	0,39	-0,12	0,24	-0,13	0,21
Ambiental	Calidad de sitio	<b>-0,40</b>	<b>0,01</b>	-0,26	0,05	-0,16	0,17

Esto indicaría que en sectores en que el bosque natural fue más denso presentó un mayor número de árboles dañados en el dosel de protección, que otros sectores con menos individuos en el bosque original. Lo anterior obedece a que en un bosque más abierto los árboles encuentran condiciones más favorables para su crecimiento diametral, enraizamiento y desarrollo en general, lo que finalmente los hace individualmente más resistentes a la acción del viento. De esta manera bosques naturales relativamente densos que son intervenidos con cortas de regeneración, dejaría expuestos a la acción del viento a árboles que individualmente son más vulnerables, por lo que probablemente el dosel de protección presentará un mayor número de árboles dañados en caso de ocurrir una intensa tormenta de viento. Si bien la densidad del bosque natural varió entre 150 y 630 árboles por hectárea, y la densidad del dosel de protección osciló entre 110 y 470 árboles por hectárea, los datos disponibles resultan insuficientes para concluir el nivel de densidad adecuado en el dosel de protección de manera de minimizar los daños potenciales, en caso de ocurrir una tormenta.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, y dadas las amplias diferencias que pueden encontrarse en la densidad de un bosque natural, la intensidad de corta (en términos porcentuales) no es un parámetro adecuado para poder suponer un mayor nivel de daño potencial, si es que no se hace referencia a la densidad del bosque original y a la del bosque residual luego de la intervención.

Los resultados señalan también la existencia de una relación inversa entre la cantidad de árboles dañados por el viento y la calidad de sitio del rodal. Esto indica que existe una menor cantidad de árboles dañados en sectores de mejor calidad de sitio y resulta consecuente y reafirma lo presentado en el punto 5.3.1.1.

En relación a diámetro cuadrático medio (DCM) del bosque natural y dosel de protección, éste mostró una relación inversa con el número de árboles que resultó dañado, en conjunto con lo señalado anteriormente, el daño registrado en el dosel de protección fue mayor en aquellos rodales que presentaron una densidad más alta y estuvieron caracterizados por un menor diámetro cuadrático medio.

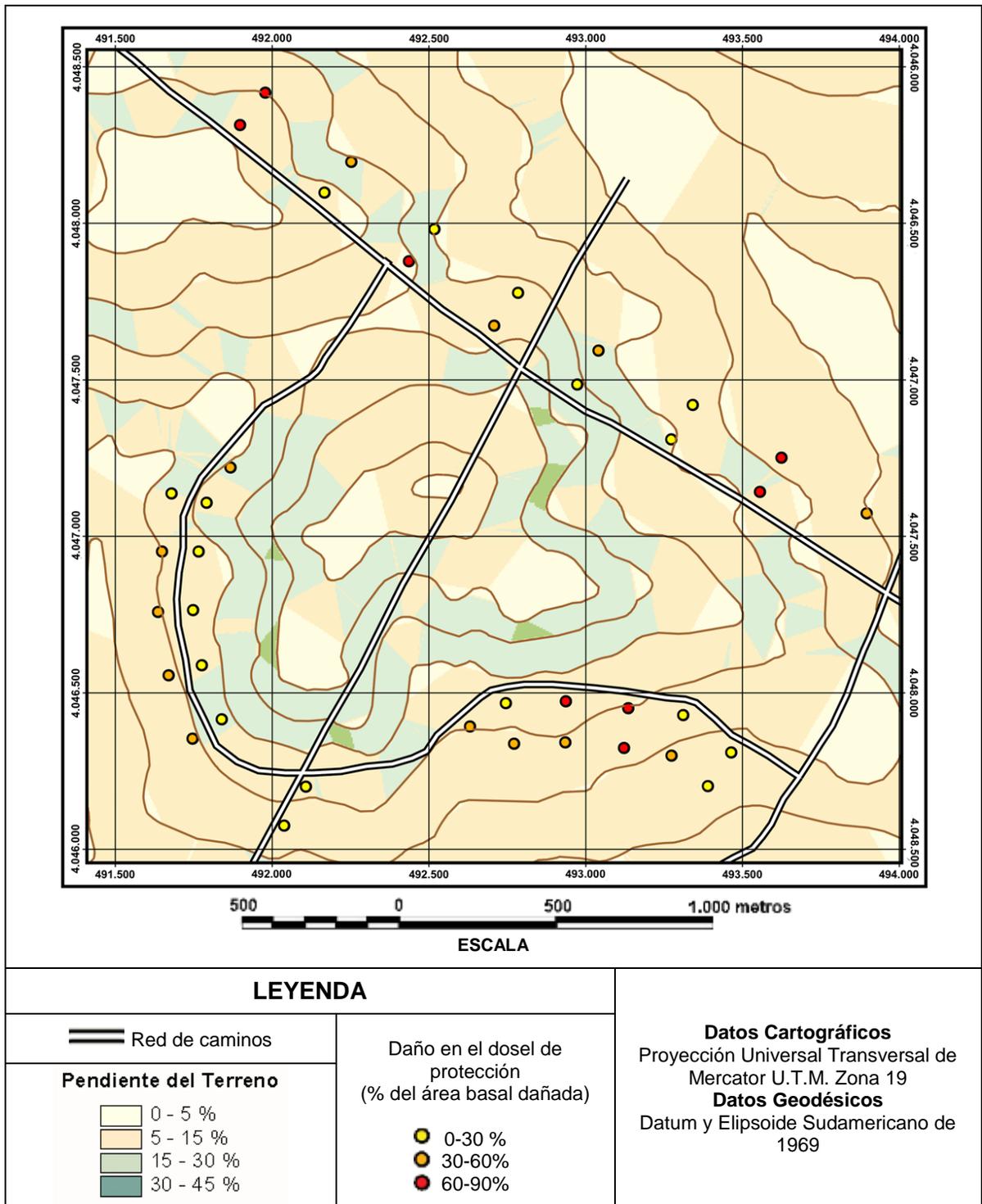
El Cuadro 11 muestra además que si el nivel de significación ( $\alpha$ ) (probabilidad de error para la correlación entre las variables) fuese del 10%, además de las variables señaladas anteriormente, las existencias en área basal y volumen del bosque virgen, manifestarían una relación estadísticamente significativa, con los niveles de daño expresados en área basal y volumen registrados en el dosel de protección.

### **5.3.2.2 Incidencia de las variables topográficas en el daño por viento**

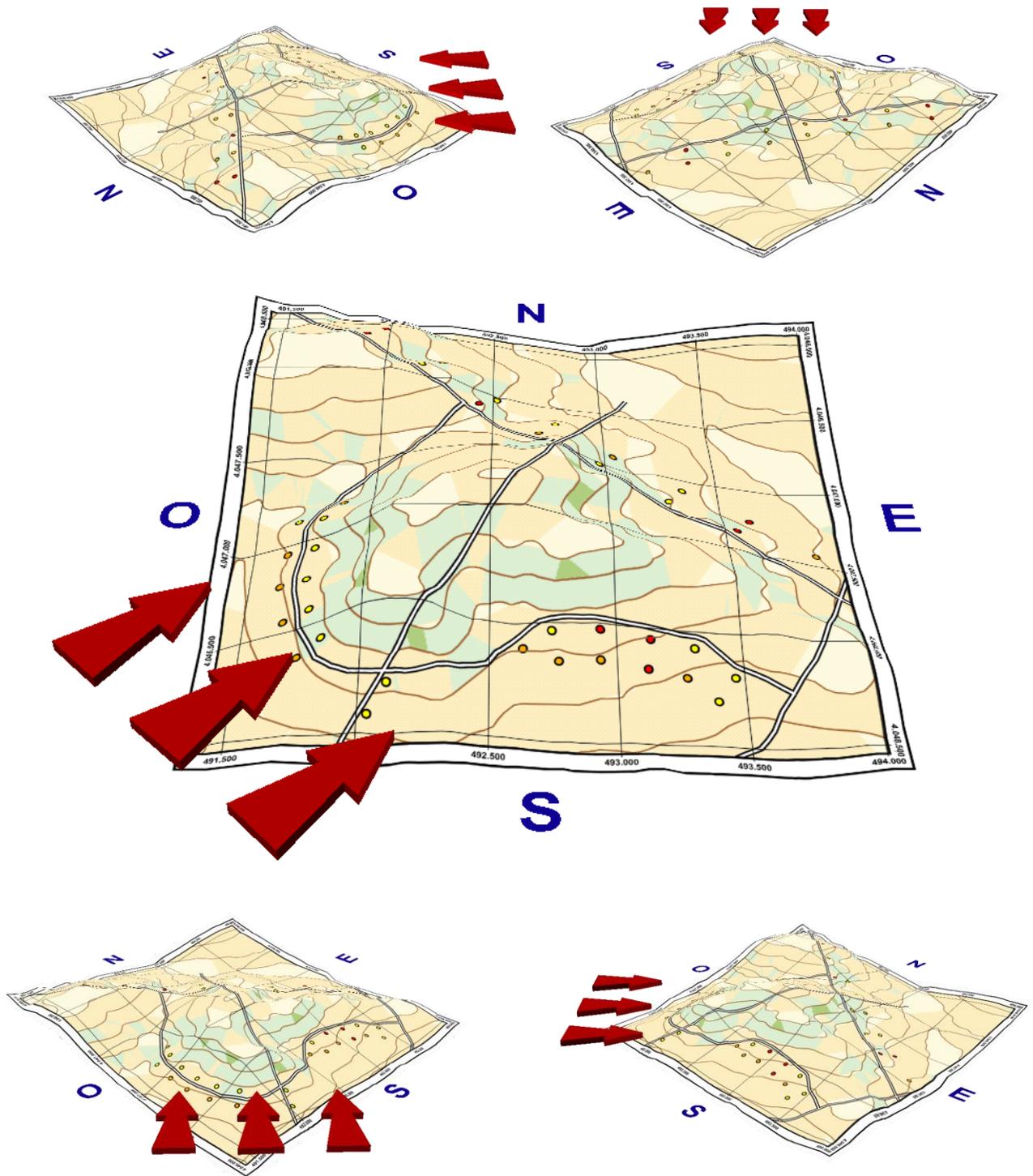
En base a mediciones en terreno se determinó que las principales direcciones de caídas de árboles fueron noreste, y este con un 48 y 21,7% respectivamente, el resto de las direcciones consideradas tuvo una participación menor al 10%. Esto indica que la dirección predominante de los vientos asociados a la tormenta que afectó el área de estudio fue sur-oeste.

En el área de estudio las altitudes variaron entre 280 y 390 msnm, la altitud promedio entre los distintos rodales fue de 330 msnm. Un 15% de los rodales se ubicó sobre los 350 msnm. Para efecto de los análisis realizados, los rodales estudiados fueron clasificados en tres categorías de altitud, que fueron: 280-320; 320-350 y 350-400 msnm.

La pendiente predominante del terreno fue de entre 5-15%, la pendiente máxima en los rodales analizados no superó el 30%. El área de estudio se clasificó en categorías de pendiente que fueron: 0-5%; 5-15%; 15-30% y 30-45% (Figura 25).



**Figura 25.** Altitud, exposición, pendiente y magnitud del daño por viento en las parcelas de muestreo sobre el área de estudio.



**Figura 26.** Vista tridimensional de la ubicación de las parcelas de muestreo en las diferentes exposiciones. Las flechas indican la dirección de los vientos dominantes en la zona.

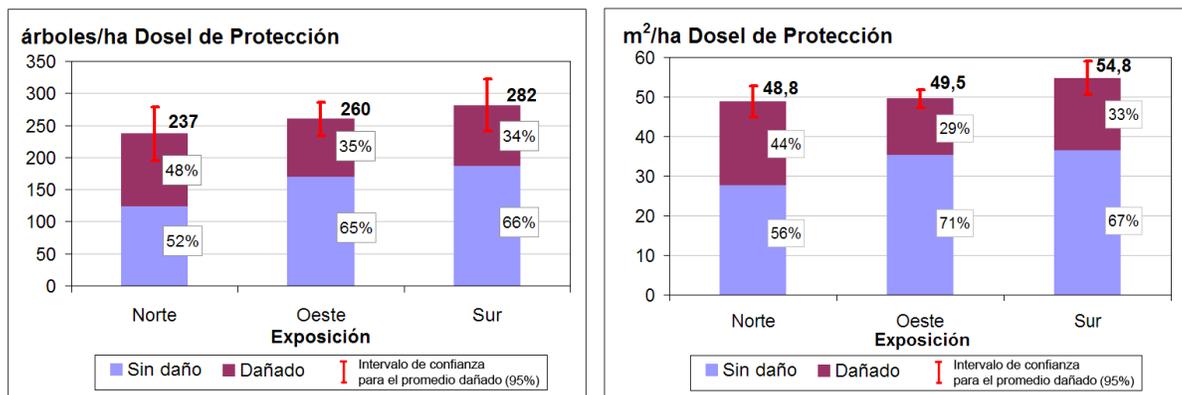
Se realizaron comparaciones, mediante análisis de covarianza, del daño registrado (en número de árboles, área basal y volumen) respecto a las existencias en el dosel de protección, entre las distintas exposiciones, categorías de altitud y pendiente del terreno. Los resultados obtenidos permiten señalar que ninguna de las variables topográficas consideradas en este estudio por sí solas muestran relación con la magnitud de daño por viento (en número de árboles, área basal y volumen) observado en el dosel de protección. Sin embargo, un análisis combinado entre las variables topográficas y la calidad de sitio de los rodales ayudaron en parte a explicar en parte las diferencias registradas. El análisis fue parcial dado que en cada exposición no quedaron representadas la mezcla de situaciones en diferentes categorías de sitio, categorías de pendiente del terreno y categorías de altitud (Figura 25, Cuadro 12, Apéndice 1).

Si bien se determinó que entre las exposiciones, entre las categorías de altitud y las categorías de pendiente no se presentaron diferencias estadísticamente significativas, las variaciones observadas se presentan en las Figuras 29,30 y 31.

### a. Exposición

De acuerdo a lo planteado en el punto 5.3.2.1, existe evidencia estadística de que la densidad del dosel de protección tendría cierta influencia en la magnitud del daño por viento, por ello para separar el probable efecto de la densidad del dosel de protección del efecto de la exposición topográfica, se efectuó un análisis de covarianza. Este análisis mostró que no existen diferencias estadísticamente significantes en la magnitud de daño expresado en número de árboles, área basal y volumen, entre las diferentes exposiciones, con una probabilidad de error de 5%.

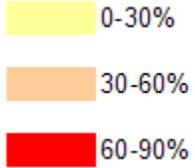
Los resultados indican que en los rodales ubicados en exposición norte un 48% de los árboles en el dosel de protección resultaron dañados. En las exposiciones oeste y sur el daño en número de árboles fue de 35% y 34% respectivamente. El daño en área basal y volumen alcanzó el 44% en la exposición norte, 29% en la exposición oeste y 33% en la exposición sur, respecto del total en el dosel de protección (Figura 27, 28 y 29).

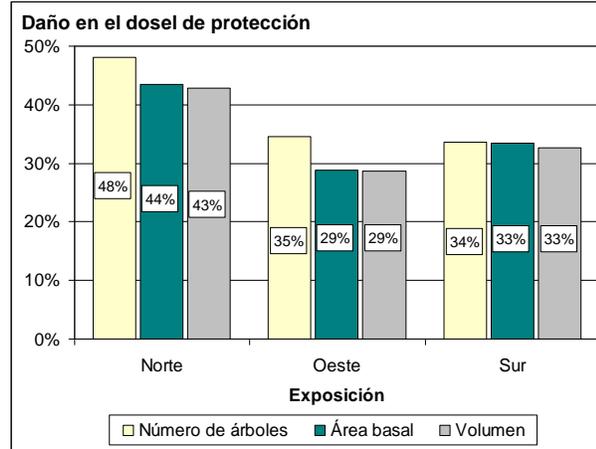


**Figuras 27 y 28.** Existencias en el dosel de protección y magnitud del daño por viento en las exposiciones consideradas.

Si bien además la calidad de sitio tiene influencia en la magnitud del daño (punto 5.3.2.1), no fue posible separar su efecto del de la exposición topográfica dado que no todas las calidades de sitio quedaron representadas en las diferentes exposiciones.

**Cuadro 12.** Proporción de árboles dañados en el dosel de protección, en las distintas situaciones consideradas.

Arboles dañados en el dosel de protección (%)								
								
Exposición	Rango de altitud (msnm)	Categoría de pendiente	Calidad de sitio			Total pendiente	Total altitud	Total exposición
			Regular (< 20 m)	Bueno (20-24 m)	Muy bueno (> 24 m)			
NORTE	280-320	0-5 %					58%	48%
		5-15 %		50%	77%	58%		
		15-30 %						
	320-350	0-5 %		0%		0%	23%	
		5-15 %			13%	13%		
		15-30 %		53%	30%	37%		
	350-400	0-5 %		86%		86%	57%	
		5-15 %		51%		51%		
		15-30 %		56%		56%		
OESTE	280-320	0-5 %					38%	35%
		5-15 %		52%	17%	38%		
		15-30 %						
	320-350	0-5 %					33%	
		5-15 %		31%	29%	31%		
		15-30 %		38%		38%		
	350-400	0-5 %						
		5-15 %						
		15-30 %						
SUR	280-320	0-5 %					35%	34%
		5-15 %		38%	28%	35%		
		15-30 %						
	320-350	0-5 %					31%	
		5-15 %	79%	19%	13%	31%		
		15-30 %						
	350-400	0-5 %						
		5-15 %						
		15-30 %						
Total por calidad de sitio			79%	41%	29%			
Daño global								39%



**Figura 29.** Magnitud del daño por viento en las diferentes exposiciones consideradas.

En general los resultados mostraron una menor magnitud de daño en exposiciones oeste para todos los parámetros evaluados (Figura 29), ello puede explicarse en parte por el hecho de que esos rodales, en comparación a los ubicados en las otras exposiciones, han permanecido más expuestos al viento, aún antes de realizada la intervención, ello como consecuencia de la dirección dominante de los vientos en la zona.

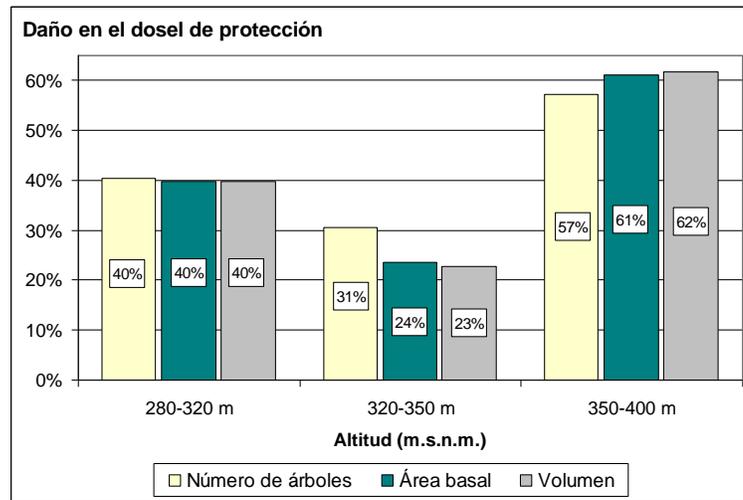
A pesar de que los rodales en la calidad de sitio más baja no quedaron representados en las exposiciones norte y oeste, los resultados presentados en el Cuadro 12, indican que en todas las exposiciones el daño tiende a disminuir en la medida que mejora la calidad de sitio, tanto para el número de árboles, área basal y volumen que resultó afectado.

#### **b. Altitud (m.s.n.m.)**

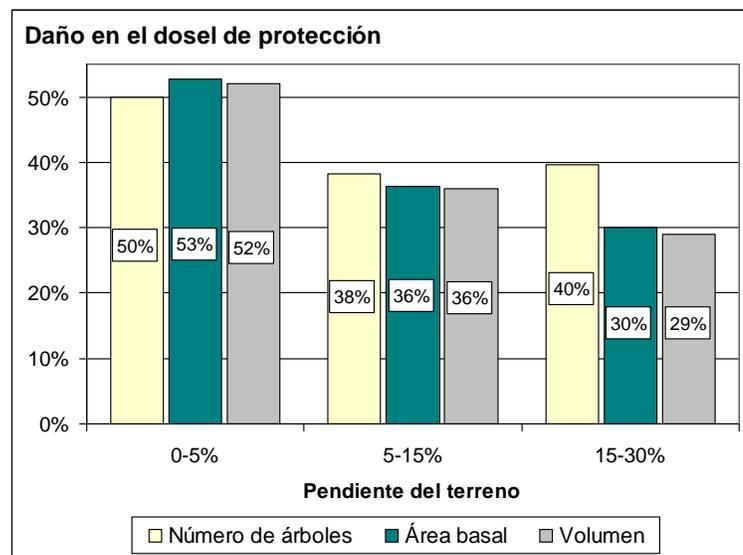
Los mayores niveles de daño se registraron en rodales ubicados a mayor altitud, ellos únicamente quedaron representados en exposición norte. Esa exposición estaría más protegida en relación a la dirección de los vientos predominantes en la zona, sin embargo, considerando el efecto de la topografía local, es probable que ocurran mayores daños en la parte alta de colinas que no están expuestas al viento, como consecuencia de las turbulencias generadas a sotavento. (Stathers *et al.*, 1994; Kimmins, 1997)

#### **c. Pendiente del terreno (%)**

Aunque entre las categorías de pendiente no se detectaron diferencias en la magnitud del daño por viento, éste tendió a ser más alto en la categoría más baja de pendiente, ello está fuertemente influenciado por un rodal que registró 86% de árboles dañados ubicado en exposición norte y en la mayor altitud.



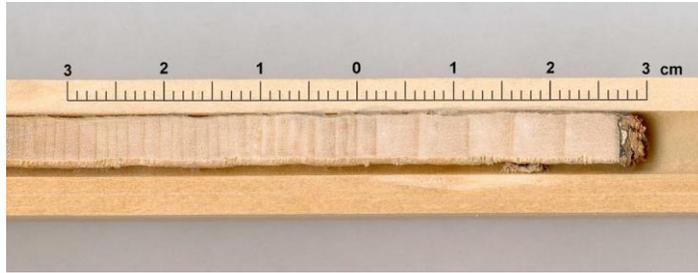
**Figura 30.** Magnitud del daño por viento en diferentes categorías de altitud del terreno.



**Figura 31.** Magnitud del daño por viento en función de la pendiente del terreno.

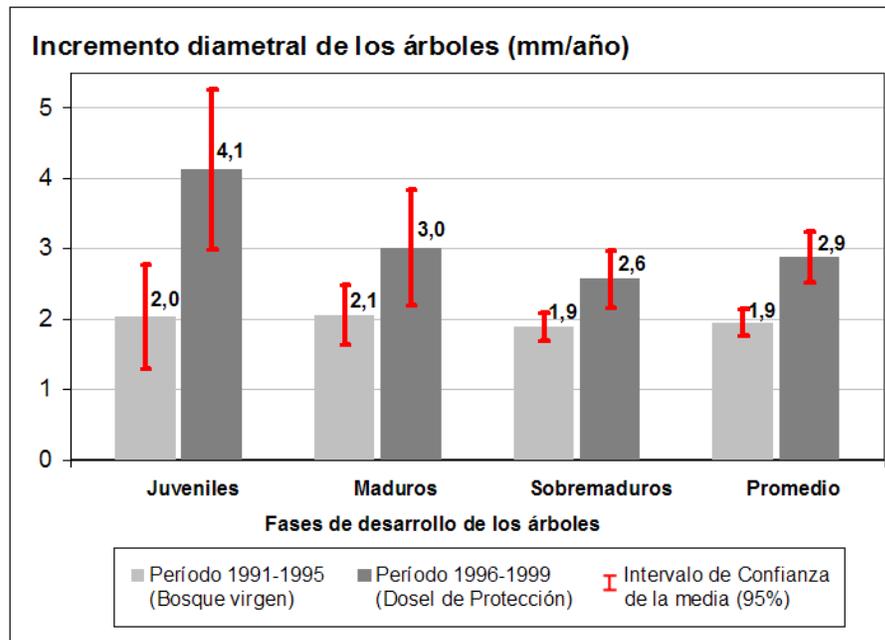
#### 5.4 Crecimiento de los árboles en el bosque virgen y en el dosel de protección

Los resultados mostraron que el crecimiento diametral de los árboles después de la intervención aumentó en comparación al bosque virgen y que entre ambos existen diferencias estadísticamente significantes ( $\alpha=0,05$ ). En el bosque natural los árboles de las distintas fases de desarrollo presentaron una tasa de crecimiento diametral similar, que alcanzó un valor promedio de 1,9 mm/año. Este crecimiento se elevó en el bosque intervenido a 2,9 mm/año, lo que implica un mejoramiento de 53% (Figura 32).



**Figura 32.** Tarugo mostrando el incremento diametral antes y después de la intervención para un árbol maduro creciendo en un sitio de 26 m de altura.

El crecimiento de los árboles en el bosque intervenido presentó diferencias en función de su fase de desarrollo. Los árboles maduros y sobremaduros presentaron una tasa de crecimiento similar de 2,6 mm/año, y un mejoramiento en el crecimiento de 35% respecto al observado en el bos . Los árboles juveniles en el bosque intervenido crecen a razón de 4,1 mm/año, valor que duplica el registrado para estos árboles en el bosque virgen, y que difiere estadísticamente del alcanzado por los árboles maduros y sobremaduros en el bosque intervenido (Figura 33).

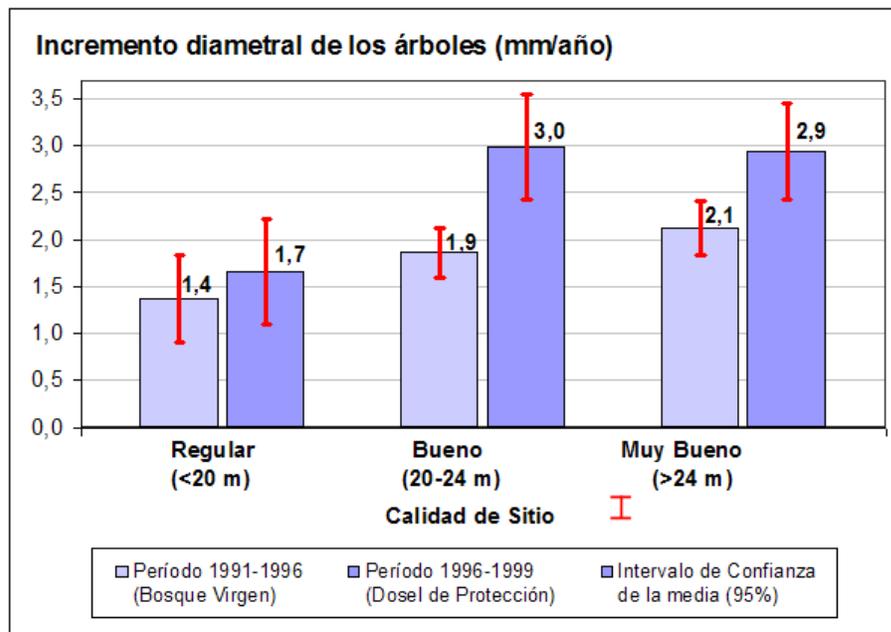


**Figura 33.** Incremento diametral por fase de desarrollo de los árboles para el bosque virgen y el bosque intervenido.

Las diferencias en el crecimiento observado luego de la intervención entre las distintas fases de desarrollo están asociadas al mayor vigor y vitalidad de los árboles en etapas primarias de desarrollo, el que decrece paulatinamente a medida que el árbol se desarrolla y envejece. A esto se agrega que la apertura del dosel como consecuencia de la intervención significa un mayor aporte de luz a las copas, y que ello tiene efectos distintos en árboles dominantes, codominantes y suprimidos.

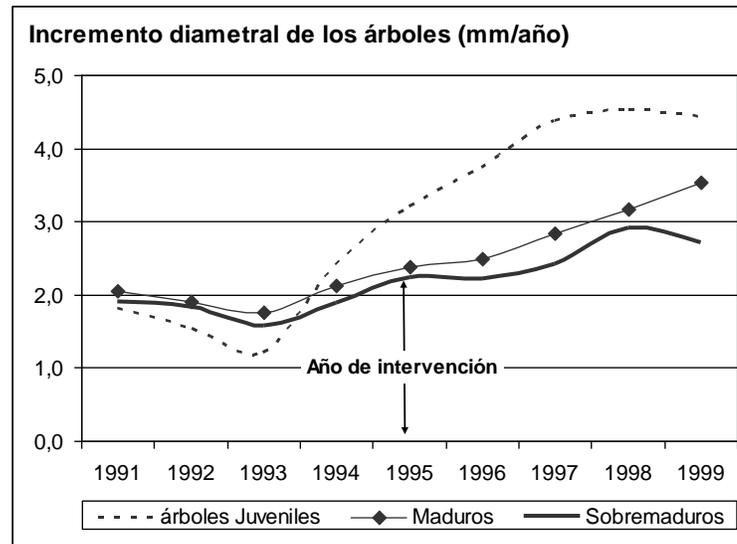
Los resultados de incremento diametral son similares a los entregados por Borie (2000) para un bosque de lenga ubicado Monte Alto, provincia de Última Esperanza, sometido a una corta de regeneración. Este autor determinó para el bosque no intervenido un crecimiento promedio de 1,7 mm/año para los árboles en todas las fases de desarrollo, valor que resulta algo inferior al obtenido en el presente estudio. Las diferencias pueden atribuirse a diferencias en la calidad de los sitios y a la estructura de los bosques estudiados.

Los análisis realizados permitieron también detectar diferencias estadísticas en la magnitud del crecimiento diametral entre las distintas categorías de sitio. Los rodales en la calidad de sitio más baja no mostraron diferencias en su tasa de crecimiento comparando las situaciones antes-después de la intervención, las diferencias entre ambas situaciones fue significativa para los sitios de mejor calidad (Figura 34).



**Figura 34.** Crecimiento diametral de los árboles en función de la clase de sitio

La Figura 34 muestra para un período de 8 años la variación en el incremento en diámetro por fase de desarrollo de los árboles. Después de la intervención los árboles en todas las fases de desarrollo presentaron un incremento en su tasa de crecimiento diametral, la que fue mayor para árboles juveniles. Luego de tres años de realizada la intervención esa tasa de crecimiento se detiene para comenzar a disminuir.



**Figura 35.** Incremento diametral de los árboles por fase de desarrollo .

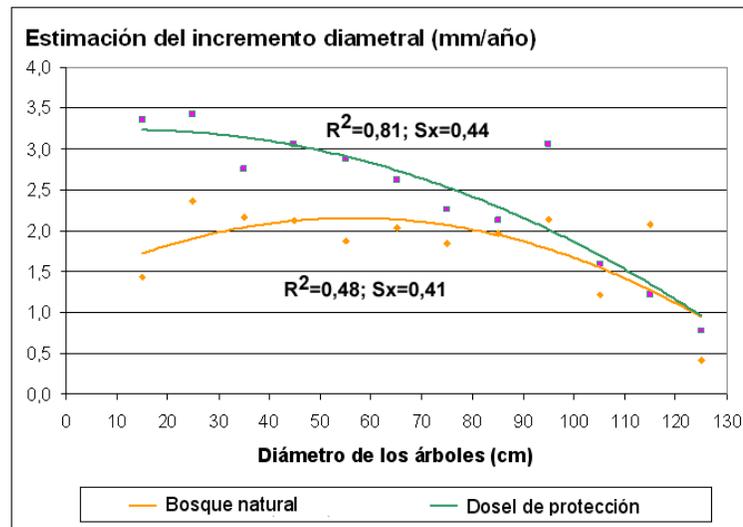
#### 5.4.1 Estimación del incremento diametral por clase diamétrica

Para describir el incremento diametral de los árboles por clase diamétrica, tanto en el bosque virgen como en el dosel de protección, se utilizaron ecuaciones de segundo grado. Estos modelos mostraron la mejor bondad de ajuste, maximizando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y minimizando los errores de estimación. Para el bosque virgen mediante esa ecuación fue posible explicar el 48% de la variabilidad total del incremento diametral anual para los árboles. Para la situación del bosque intervenido, el modelo cuadrático explicó el 81% de su variabilidad total (Apéndice 2).

La Figura 37 muestra el comportamiento de las ecuaciones utilizadas para describir el crecimiento diametral de los árboles en el bosque virgen y en el dosel de protección. Ambos modelos matemáticos permitieron también una interpretación biológica. Para el caso del bosque virgen, el modelo muestra que los árboles de las clases diamétrica menores paulatinamente van incrementando su tasa de crecimiento diametral hasta cierto punto donde éste comienza a decaer, esto como consecuencia de una pérdida de vigor en la medida que los árboles envejecen y alcanzan mayores diámetros.

Con el propósito de mostrar en forma más clara la dispersión observada en el crecimiento diametral del bosque virgen y del dosel de protección, la Figura 37 muestra el valor medio estimado para cada clase diamétrica en ambas situaciones señaladas.

La tasa máxima de crecimiento diametral se observa en árboles de diámetros en torno de 60 cm. Esto también entrega una idea del período en que el bosque es más productivo y su tasa de crecimiento volumétrico es creciente. Para la situación del bosque intervenido, el modelo descriptivo muestra que los árboles de las clases diamétricas inferiores reaccionan mejor a la intervención expresando un incremento en el crecimiento diametral el que alcanza valores en torno de los 3,2 mm/año, el que decrece en forma paulatina para las clases diamétricas superiores, ello es atribuible a las razones señaladas anteriormente en relación al vigor de los árboles y a las diferencias en el crecimiento diametral de las fases de desarrollo presentadas en el punto 5.4.



**Figura 36.** Ecuaciones descriptivas del incremento diametral del bosque (mm/año) antes y después de la intervención.

#### 5.4.2 Crecimiento en área basal y volumen para el bosque virgen y dosel de protección

En el virgen el crecimiento promedio en área basal fue de  $0,5 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$  y varió entre  $0,3$  y  $0,7 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$ , sin encontrarse diferencias entre bosques en distintas calidades de sitio (Cuadro 14).

Se determinó que en el bosque virgen el crecimiento volumétrico varió entre  $2,7$  y  $7,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  entre los distintos rodales y tuvo un promedio de  $5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ . Por calidad de sitio los valores oscilaron entre  $4,6$  y  $5,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ , aunque se reconoce un aumento en la medida que mejora la calidad de sitio, no se detectaron diferencias estadísticamente significantes con un nivel de confianza del 95% (Cuadro 14).

El hecho que los crecimientos en área basal y volumen sean siempre menores en el bosque intervenido en comparación con el bosque natural, se debe a que los resultados provienen de poblaciones distintas, ya que la cosecha redujo las existencias del bosque virgen.

El crecimiento en área basal del dosel de protección varió entre  $0,2$  y  $0,5 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$  entre los diferentes rodales, con un promedio de  $0,4 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$ , entre las calidades de sitio no se detectaron diferencias estadísticamente significantes (Cuadro 13).

El crecimiento volumétrico del dosel de protección fue de  $3,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  oscilando entre  $1,6$  y  $5,3 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  en los rodales estudiados. La amplia variación observada tiene relación con las diferencias en calidades de sitio y de existencias en el bosque residual.

**Cuadro 13.** Crecimiento por año en área basal y volumen del bosque virgen y dosel de protección por calidad de sitio.

Calidad de sitio (m)	Crecimiento en área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)		Crecimiento Volumétrico (m <sup>3</sup> /ha/año)	
	Bosque Natural	Dosel de Protección	Bosque Natural	Dosel de Protección
<b>Regular</b> (< 20 m)	0,5	0,4	4,6	3,1
<b>Bueno</b> (20 – 25 m)	0,5	0,4	4,9	3,5
<b>Muy Bueno</b> (>25 m)	0,5	0,3	5,2	3,6
<b>Promedio*</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>5,0</b>	<b>3,5</b>

(\*)Corresponde al promedio ponderado de las observaciones por calidad de sitio.

El Cuadro 14 muestra que el dosel de protección conservó el 76% del área basal y volumen bruto presente en el dosel de protección, por su parte el crecimiento en área basal y volumen se redujo en promedio un 30%, ello se debe a que el dosel de protección quedó constituido fundamentalmente por árboles sobremaduros, los que presentaron la más baja tasa de incremento diametral. Dadas las tasas de crecimiento observadas en el dosel de protección los períodos de recuperación de los montos cosechados, se señalan en el Cuadro 14, como consecuencia del daño por viento ocurrido, ese período aumentó casi en dos tercios.

**Cuadro 14.** Reducción en el crecimiento observado en relación a la reducción en las existencias.

	Area basal		Volumen bruto		Recuperación de la cosecha (años)			
	Existencias (m <sup>2</sup> /ha)	Crecimiento (m <sup>2</sup> /ha/año)	Existencias (m <sup>3</sup> /ha)	Crecimiento (m <sup>3</sup> /ha/año)	del area basal cosechada		del volumen cosechado	
					Sin daño por viento	Con daño por viento	Sin daño por viento	Con daño por viento
Bosque virgen (BV)	67,0	0,5	684,4	5,0				
Dosel de protección (DDP)	51,0	0,3	519,5	3,5	46,2	76,3	47,1	78,5
Relación (DDP/BV)*100	<b>76%</b>	<b>69%</b>	<b>76%</b>	<b>70%</b>				

El daño por viento que afectó el dosel de protección redujo la densidad del bosque, hace que los valores reales de crecimiento volumétrico del bosque residual, también disminuyan, esa diferencia es presentada en el Cuadro 15 y Figuras 37 y 38. En promedio luego de 4 años de realizada la intervención el crecimiento neto en área basal fue de 0,2

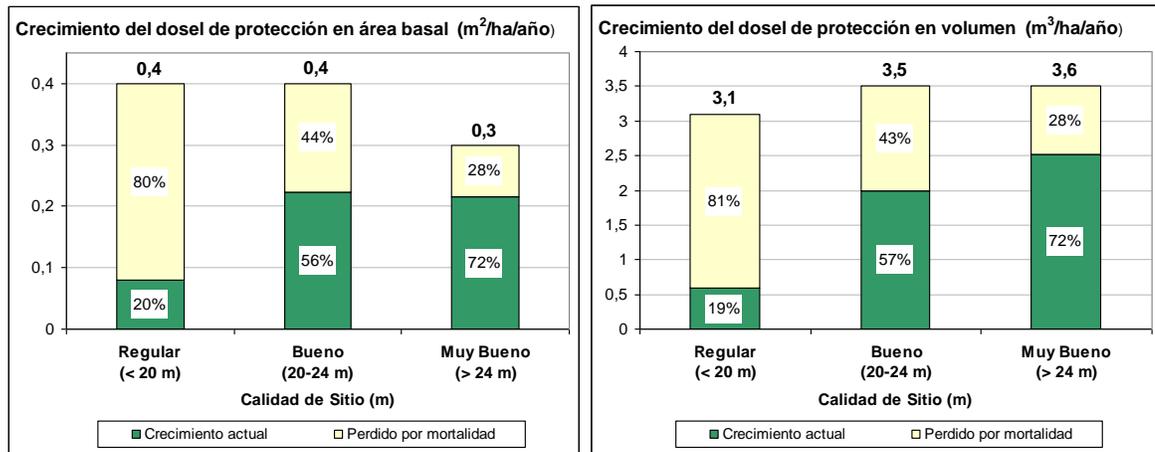
$m^2/ha/año$ , y  $0,1 m^2/ha/año$  se ha perdido debido al daño causado por el viento sobre los árboles del dosel de protección.

El crecimiento promedio en volumen del bosque residual se estimó en  $2,1 m^3/ha/año$ , un crecimiento equivalente a  $1,4 m^3/ha/año$  se perdió como consecuencia de la mortalidad de árboles producida por el viento.

**Cuadro 15.** Crecimiento en área basal por calidad de sitio del dosel de protección luego de 4 años de la intervención.

Calidad de sitio (m)	Crecimiento Dosel de protección (1995-1999)		Reducción por daño de viento		Crecimiento Bosque residual (1999- en adelante)	
	Área Basal ( $m^2/ha/año$ )	Volumen ( $m^3/ha/año$ )	Área Basal ( $m^2/ha/año$ )	Volumen ( $m^3/ha/año$ )	Área Basal ( $m^2/ha/año$ )	Volumen ( $m^3/ha/año$ )
Regular (< 20 m)	0,4	3,1	0,3	2,5	0,1	0,6
Buena (20 – 24 m)	0,4	3,5	0,2	1,5	0,2	2,0
Muy Buena (>24 m)	0,3	3,6	0,1	1,0	0,2	2,6
Promedio*	0,4	3,5	0,1	1,4	0,2	2,1

(\*)Corresponde al promedio ponderado de las observaciones por calidad de sitio.



**Figura 37 y 38.** Crecimiento del dosel de protección tras 4 años de realizada la corta de regeneración, por calidad de sitio en área basal y volumen.

Dado que el fenómeno el daño por viento se presenta cada año reduciendo las existencias del dosel de protección, es probable que los valores de crecimiento entregados aquí se reduzcan con el transcurso del tiempo.

## 5.5 Evaluación de la regeneración

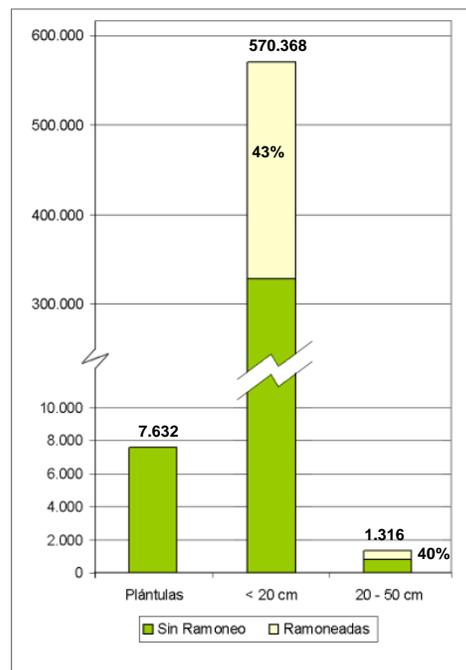
### 5.5.1 Densidad de la regeneración y daño por ramoneo

La densidad de regeneración fue muy variable y abundante en el área de estudio, encontrándose en promedio 580.000 plantas por hectárea, con mínimo y máximo observado de 114.000 y 1.870.000 plantas/ha. De acuerdo a las categorías de altura consideradas, la mayoría de las plantas tuvo una altura menor a 20 cm (525.089 pl/ha), y sólo 1.316 plantas por hectárea tuvo una altura entre 20 y 50 cm. (Figura 39). Esto se explica en parte por el daño por ramoneo que provoca el guanaco a la regeneración.

En promedio un 42% de las plantas presentó ramoneo por guanacos, esta situación provocó pérdidas de crecimiento y deformó las plantas, ello compromete seriamente la calidad del bosque futuro (Figura 40 y 41).

El daño por ramoneo presentado en la Figura 39, muestra que éste fue similar para las plantas en distinta categoría de altura, y tendió a ser más elevado en las plantas menores a 20 cm de altura, las que fueron más abundantes en el área de estudio.

El establecimiento de nuevas plantas depende directamente de la producción de semillas en el bosque. Se ha determinado que ésta puede ser altamente variable oscilando entre 0 a 16 millones de semillas/ha (Schmidt y Caldentey, 2001). Esta amplia variación se explica por la ciclicidad en la producción de semillas que caracteriza a la lenga, este hecho, claramente condiciona la posibilidad de establecimiento de nuevas plantas.



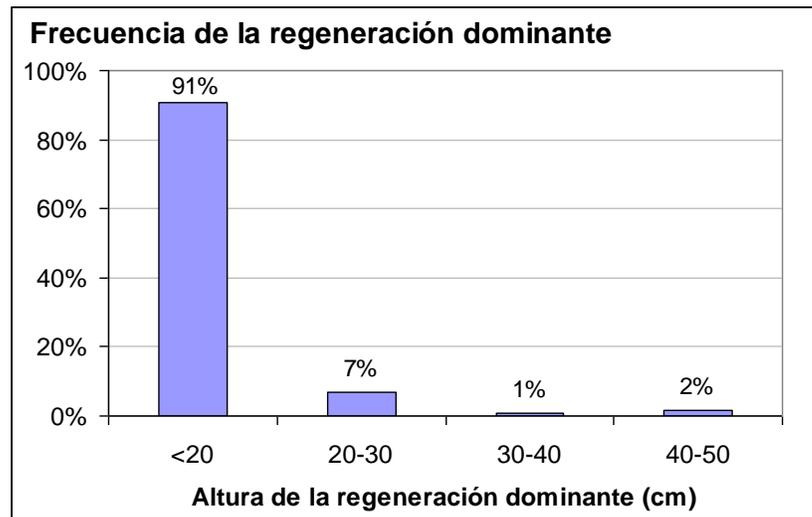
**Figura 39.** Densidad de la regeneración e intensidad de ramoneo.



**Figura 40 y 41.** Daño apical por ramoneo de guanacos (a), aspecto general de una planta no ramoneada. (b)

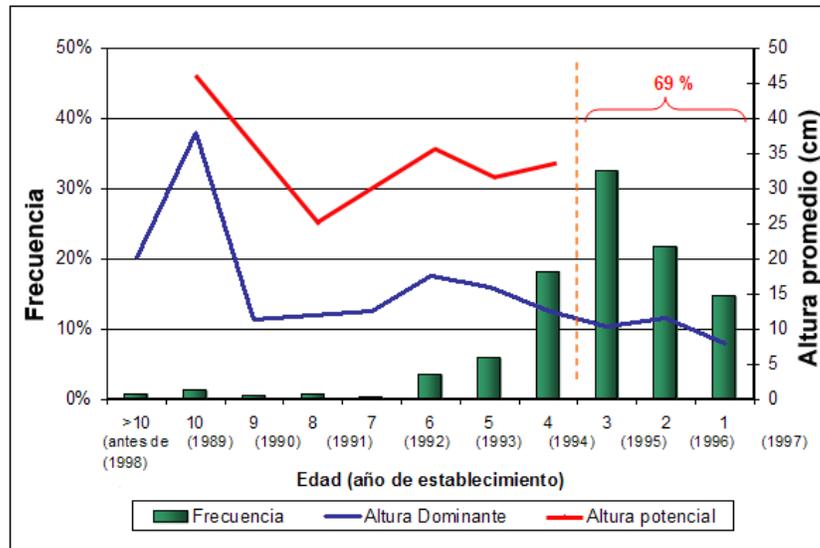
### 5.5.2 Altura y edad de la regeneración dominante

En base al total de puntos de muestreo sobre los transectos realizados en el área de estudio se determinó que la altura de las plantas más altas estuvo entre los 40 y 50 cm de altura, pero la mayoría (91%) no superó los 20 cm de altura (Figura 42).



**Figura 42.** Frecuencia de la regeneración dominante por categoría de altura.

Las plantas colectadas en los transectos permitieron determinar la edad de la regeneración y su frecuencia en función de la edad como se muestra en la Figura 43. De ella se desprende que 31% del total de plantas estaba presente al momento de la intervención y 69% se estableció como consecuencia de ella.



**Figura 43.** Frecuencia y altura de la regeneración en función de la edad de las plantas.

La distribución de frecuencia de la regeneración en el bosque virgen presentada en la Figura 43, indica que las plantas de mayor edad son las menos abundantes, como consecuencia de la mayor mortalidad acumulada durante su periodo de sobrevivencia, sin embargo son las que presentaron mayor altura, plantas dominantes de 10 años mostraron una altura promedio de 37 cm, la altura registrada para plantas potenciales de la misma edad fue de 45 cm, la diferencia entre ambas la explica el ramoneo que sufren las plantas.

La Figura 43 muestra además que la altura registrada para plantas de entre 2 y 9 años es muy similar, con valores en torno de 13 cm. Ello lo explica parcialmente el constante ramoneo que sufren las plantas en el transcurso del tiempo, lo que se refleja en un estancamiento en su altura.

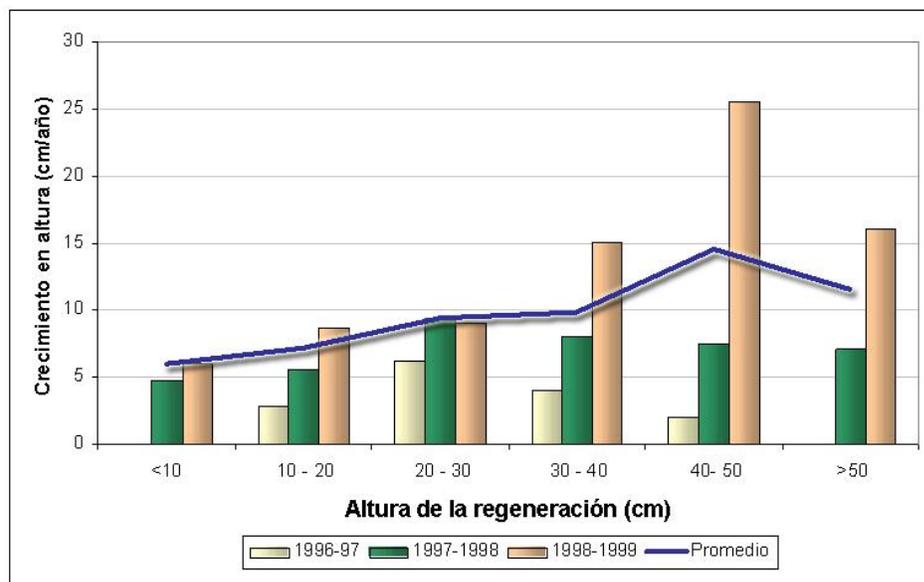
Las plantas denominadas “potenciales” colectadas en el área de estudio permitieron comparar el crecimiento respecto a las plantas dominantes en función de su edad (Figura 43). Los resultados mostraron que para plantas de entre 4 y 8 años el crecimiento de las plantas potenciales (sin ramoneo) duplicó el registrado para la regeneración dominante, esas diferencias sólo pueden explicarse por el ramoneo de guanacos que sufren las plantas.

### 5.5.3 Crecimiento en altura de la regeneración dominante

El crecimiento promedio anual en altura de la regeneración (Figuras 44 y 45) varió entre 6 y 14,5 cm/año, y su valor aumentó con la altura de las plantas y edad (Figura 46). En promedio plantas de entre 40 y 50 cm de altura mostraron los mayores crecimientos anuales de 14,5 cm/año con un máximo observado de 26 cm/año, en contraste las plantas menores a 10 cm tuvieron un crecimiento promedio en altura de 6 cm/año. Estas diferencias en parte se deben a que las plantas más altas ocupan una posición sociológica más favorable, aprovechando mejor las nuevas condiciones de luminosidad generadas por la intervención. Además esas plantas han desarrollado un sistema radicular más extenso que les permite un uso más eficiente de agua y nutrientes.



**Figura 44 y 45.** Crecimiento del último año de una planta de regeneración y detalle de una cicatriz en el tallo del crecimiento de años anteriores.



**Figura 46.** Crecimiento promedio en altura de la regeneración, por categoría de altura y durante tres períodos de crecimiento evaluados.

Al analizar la edad promedio de las plantas colectadas (Cuadro 16) se observa que en general las plantas por sobre 10 cm de altura corresponden a plantas existentes antes de realizada la intervención, en este sentido Martínez-Pastur *et al.*, (1999), indican que las plantas preestablecidas son las que resultan más favorecidas con la reducción de cobertura y mayores aportes de luz generados por la corta de árboles, lo que se refleja en mayores crecimientos en altura.

**Cuadro 16.** Relación entre el crecimiento en altura de la regeneración y su edad por categoría de altura.

<b>Altura de las Plantas (cm)</b>	<b>Crecimiento en altura (cm/año)</b>	<b>Edad promedio (años)</b>
<10	6,0	3,7
10 – 20	7,1	4,8
20 – 30	9,4	4,8
30 – 40	9,8	6,8
40 –50	14,5	5,0
>50	11,5	5,0

## 6. CONCLUSIONES.

### Bosque virgen y cosecha

- El bosque estudiado en comparación a otros de la región se caracterizó por presentar altas existencias y elevada calidad de sitio, con árboles de hasta 29 m de altura, situación poco frecuente en bosques comerciales de la región.
- La intensidad de corta fue baja, 122 árboles/ha, 16 m<sup>2</sup>/ha y 165 m<sup>3</sup>/ha fueron extraídos, equivalente 32%, 24% y 24% de los árboles, área basal y volumen del bosque virgen, respectivamente.
- En términos porcentuales la intensidad de corta mostró pequeñas diferencias en función de la calidad de sitio de los rodales, disminuyendo hacia rodales de mejor calidad de sitio. Sin embargo en volumen bruto, la cosecha en rodales de mejor calidad tuvo un rendimiento 20% superior en base al registrado en los sitios de calidad más baja.
- La cosecha se concentró fundamentalmente en árboles maduros y sobremaduros de entre 20 y 80 cm de diámetro.

### Existencias del dosel de protección

- El dosel de protección conservó existencias que se estimaron en 258 árb/ha, 51 m<sup>2</sup>/ha de área basal y 520 m<sup>3</sup>/ha en volumen bruto. Rodales de menor calidad de sitio tendieron a presentar una mayor densidad de los rodales ubicados en sitios de mejor calidad.
- Para el dosel de protección se detectaron diferencias en la composición por fases de desarrollo de los árboles. La mayor proporción de árboles sobremaduros se presentó en los rodales de mejor calidad de sitio. Los árboles en esa fase de desarrollo concentraron entre 63 y 80% del total del área basal y volumen estimado para el dosel de protección entre las distintas categorías de sitio.

### Estabilidad del dosel de protección

- Tras 4 años de realizada la corta de regeneración, el dosel de protección registró pérdidas provocadas por el viento que se estimaron en 39%, 36% y 35% del número de árboles, área basal y volumen bruto del dosel de protección.
- El nivel de daño registrado entre los diferentes rodales varió entre 0 y 90%, para todos los parámetros evaluados, las diferencias se explican combinando la calidad de sitio de los rodales con otros elementos como la su densidad, exposición, altitud y pendiente del terreno.
- El daño más frecuente observado en todas las fases de desarrollo, fue la caída de árboles, en promedio este tipo de daño concentró el 66% del total árboles área basal y volumen que resultó afectado. Por otra parte, la proporción de árboles quebrados tendió a aumentar hacia árboles sobremaduros, en tanto que los árboles juveniles registraron la mayor proporción de árboles muertos en pie.

- La magnitud de daño por viento mostró diferencias en función de la calidad de sitio. Los niveles más altos de daño se registraron en los rodales de clase de sitio más baja. En general es esperable niveles más altos de daño para árboles en mejores calidades de sitio, sin embargo la calidad de sitio por si sola, no es suficiente para explicar las diferencias observadas.
- Los rodales en calidades de sitio más baja presentaron una mayor densidad, tanto en el bosque virgen como en el dosel de protección. Otras investigaciones han mostrado que rodales con esas características poseen una mayor estabilidad colectiva, sin embargo intervenciones realizadas en ellos exponen al viento árboles que individualmente son muy vulnerables, por tener en general una alta relación altura/DAP.
- Análisis de regresión entre variables descriptivas del bosque y la magnitud de daño por viento, mostraron que la densidad (del bosque virgen y del dosel de protección), diámetro cuadrático medio de ambas situaciones y la calidad de sitio del rodal, cada una en forma individual, manifestó una relación significativa con el número de árboles que resultó dañado en el dosel de protección.
- No se detectaron diferencias en la magnitud del daño por viento (en número de árboles, área basal y volumen) registrado en las diferentes exposiciones, categorías de altitud y rangos de pendiente del terreno
- La integración de la información de los inventarios con elementos topográficos, mediante Sistemas de Información Geográficos, permitieron una mejor interpretación de los resultados obtenidos y una visualización global de ellos.

### **Crecimiento diametral de los árboles**

- En el bosque virgen la tasa de crecimiento diametral de los árboles fue de 2 mm/año, y no existieron diferencias estadísticas significantes ( $P < 0,05$ ) entre árboles en distinta fase de desarrollo
- Los árboles en el dosel de protección aumentaron su crecimiento diametral respecto al bosque virgen, alcanzando valores de hasta 4 mm/año. Los árboles en todas las fases de desarrollo mostraron diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ) en relación a su crecimiento diametral antes de la intervención. El mejoramiento fue de 103%, 47% y 48%, para árboles juveniles, maduros y sobremaduros respectivamente.

### **Crecimiento en área basal y volumen del bosque**

- El crecimiento en área basal del bosque virgen se estimó en  $0,5 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$ , en el dosel de protección, como consecuencia de la cosecha, este valor se redujo a  $0,4 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$ .
- El crecimiento volumétrico del bosque virgen se estimó en  $5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ , para el dosel de protección el crecimiento estimado fue de  $3,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ .

### **Desarrollo de la regeneración**

- La regeneración en el área de estudio se estableció satisfactoriamente, se determinó un promedio de casi 580.000 plantas/ha.
- Se determinó que un 42% de las plantas presentó signos de ramoneo por guanacos.
- Un 91% de las plantas dominantes tuvo una altura menor a 20 cm. La altura máxima observada de la regeneración dominante tuvo una altura de entre 40-50 cm, aunque con una densidad muy baja (2%)
- Los resultados mostraron que plantas de entre 2 y 9 años presentaron alturas muy similares, ello evidencia el constante ramoneo que sufren las plantas con el transcurso del tiempo, lo que se refleja en un estancamiento en su altura.
- El crecimiento en altura de la regeneración dominante varió entre 6 y 14,5 cm/año, la tasa de crecimiento aumentó con la edad de las plantas.

Los resultados obtenidos en este trabajo aportan antecedentes a considerar en el manejo forestal de este tipo de bosques a fin de minimizar o evitar daños por viento durante los años posteriores a las intervenciones.

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

- Ainsworth, P. 1989.** Wind damage in Radiata pine: the Tasman experience. En: Somerville A., S. Wakelin y L. Whitehouse. 1989. Forest Research Institute. Ministry of Forestry FRI Bulletin 146. Rotorua. New Zealand. 76 p.
- Bava, J. 1999.** Establecimiento y desarrollo de la regeneración natural de lenga. CIEFAP. Patagonia Forestal. Año V, N°2. pp 7-10.
- Borie, S. 2000.** Respuesta de Bosques de Lenga a Intervenciones de Corta de Regeneración y Raleo, en la XII Región. Memoria Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 45 p.
- CONAF-CONAMA, 1999.** Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Nacional con Variables Ambientales. Proyecto CONAF-CONAMA-BIRF, Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad Católica de Temuco. 88 p.
- Contreras, C. 2004.** Evaluación del efecto de un raleo selectivo sobre el crecimiento de un renoval de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser, en Tierra del Fuego, XII Región. Memoria Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 49 p.
- Díaz, C. y R. Roberts. 1960.** Los grandes grupos de suelos de la Región de Magallanes. Agricultura Técnica años XIX-XX. 308 p.
- Dodds, P. 1997.** Efecto de ramoneo de guanaco (*Lama guanicoe* (Muller)) sobre la regeneración de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser) en Russfin, Tierra del Fuego. Memoria Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Departamento de Silvicultura. Santiago, Chile. 58 p.
- Donoso, C. 1981.** Ecología Forestal: El bosque y su medio ambiente. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 369 p.
- Donoso, C. 1993.** Bosques Templados de Chile y Argentina: variación, estructura y dinámica. 1ª Edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 483 p.
- Drouineau S., O. Laroussinie, Y. Birot, D. Terrasson, T. Formery y B. Roman-Amat. 2000.** Joint Evaluation of storm, forest vulnerability and their restoration. European Forest Institute. Discussion Paper 9. 39 p.
- Endlicher W. y A. Santana. 1988.** El clima del sur de la Patagonia y sus aspectos ecológicos: un siglo de mediciones climatológicas en Punta Arenas. Ans. Inst. Pat. Ser. Cs. Nts. Punta Arenas. Chile. Vol 18. pp 57-86.
- Espejo, G. 1996.** Desarrollo de la regeneración inicial de lenga (*Nothofagus pumilio*) bajo cortas de protección en la XII Región. Memoria Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 57 p.

- Everham E. y N. Brokaw. 1996.** Forest damage and recovery from catastrophic winds. **En:** Botanical Review 62 (2). pp 113-185.
- Fundación Chile. 1998.** La Lengua: Reina de la Vegetación Patagónica. Artículo Revista LIGNUM, Fundación Chile, Departamento Forestal. Junio 1998. pp 14-16.
- Garib, I. 1996.** Rendimientos volumétricos en bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*) sometidos a corta de protección en la provincia de Tierra del Fuego. . Memoria Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. Chile. 55 p.
- Hawley, R. y D. Smith. 1972.** Silvicultura Práctica. Barcelona. España. 544 p.
- Herrera, R. 2000.** Caída de árboles por efecto del viento en bosques de lenga, bajo cortas de protección en Russfin, Tierra del Fuego. Memoria Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago. 76 p.
- Holmgren, C. 2000.** Modificación del sotobosque y la regeneración con la corta de protección en bosques de *Nothofagus pumilio* en Russfin, Tierra del Fuego. . Memoria Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 63 p.
- Kimmins, J.P. 1997.** Forest Ecology a foundation for sustainable management. University of British Columbia. USA. 596 p.
- Kittredge J. 1948.** Forest Influences: the effects of woody vegetation on climate, water and soil, with applications to the conservation of water and the control of floods and erosion. New York, United States of America. McGraw-Hill Book Company, Inc. 349 p.
- Lanfranco, D. 1991.** Sinopsis de los insectos que atacan bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*) Poepp. et Endl) Krasser) en Magallanes. Ans. Inst. Pat. See. Cs. Nts. Punta Arenas. Chile. Vol 20 (1). pp 89-93.
- Martinez-Pastur, G. P. Peri, M.C. Fernández y G. Staffieri. 1999.** Desarrollo de la regeneración a lo largo del ciclo de manejo forestal de un bosque de *Nothofagus pumilio*: incidencia de la cobertura y el aprovechamiento o cosecha. Bosque 20 (2). pp 39-46.
- Miller, K.F. y C.P. Quine. 1991.** Wind. **En:** Hibbert B.G. (Ed.). Forestry Commission. Handbook N° 6. U.K.1 1991. pp139-146.
- Mitchell, S. 1995.** The windthrow triangle: a relative windthrow hazard assessment procedure for forest managers. The Forestry Chronicle. Vol. 71, N°4. pp 446-450.
- Muñoz, D. 1971.** Consideraciones silvícolas para los bosques de Lengua en la zona de Cámeron-Vicuña en Tierra del Fuego (Provincia de Magallanes). Instituto Forestal. División Forestal. Sección Silvicultura. 23 p..
- Pavari, A. 1962.** Forest Influences. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 307 p.
- Peltota, H., y S. Kellomäki. 1993.** A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage of Scots pines at stand edge. Silva Fennica. 27 (2): 99-111.

- Peltola, H., B. Gardiner, S. Kellomäki, T. Kolstrom, R. Lassig, J. Moore, Ch. Quine y J.C. Ruel. 2000.** Wind and other abiotic risk to forest. *Forest Ecology and Management* 135 (1-2). Faculty of Forestry of Joensuu. Joensuu. Finland. pp 1-2.
- Peri, P.; G. Martínez P.; R. Vukasovic; B. Díaz; M.V. Lencinas; J.M. Cellini. 2002.** Thinning schedules to reduce risk of windthrow in *Nothofagus pumilio* forest of Patagonia, Argentina *Bosque* 23(2): 19-28.
- Petersen, J. 1988.** *Chilecomadia valdiviana* (Philippi) (Lepidoptera: Cossidae) asociado a *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser en la Región de Magallanes. *Ans. Inst. Pat. See. Cs. Nts. Punta Arenas. Chile. Vol 18.* pp 51-55.
- Pesutic, S. 1978.** Análisis de estructura y análisis sanitario en un bosque de lenga. *Memoria Ingeniería Forestal. Fac. Cs. Agr. Vet. y For. Santiago. Chile.* 63 p.
- Pisano, E. 1977.** Fitogeografía de Fuego-Patagonia Chilena. *Ans. Inst. Pat. Vol (8).* Pp 121-250.
- Promis A. 1999.** Modificaciones microclimáticas causadas por la intervención silvícola en bosques naturales de Lenga (*Nothofagus pumilio*). *Memoria Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile.* 108 p.
- Pulido, F.J., Díaz, B. y G. Martínez-Pastur. 2000.** Incidencia del ramoneo de guanaco (*Lama guanicoe*) (Muller) sobre la regeneración temprana en bosques de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl.) Krasser), de Tierra del Fuego, Argentina. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 9 (2).* pp 381-384.
- Quine C.P., M.P. Coutts, B.A. Gardiner y D.G. Pyatt. 1995.** Forest and wind: management to minimise damage. *Forestry Commission Bulletin 114. London.* 24 p.
- Rebertus A. y T. Veblen. 1993.** Structure and tree-fall gaps dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Vegetation Science* 4. pp 641-654.
- Rebertus A., T. Kitzberger, T. Veblen y L. Roovers. 1997.** Blowdown history and landscape patterns in the Andes of Tierra del Fuego, Argentina. *Ecology* 78 (3): 678-692.
- Rodríguez, R., O. Matthei y M. Quezada. 1983.** Flora arbórea de Chile. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 408 p.
- Rodríguez, C. 2002.** Desarrollo de los bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*) después de la corta de regeneración en Monte Alto, XII Región. *Memoria Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago.* 64 p.
- Ruel, J.C. 1995.** Understanding windthrow: Silvicultural Implications. *The Forestry Chronicle* 71 (4): pp. 434-445.

- Schmidt, H. 1987.** Transformación silvícola y potencial productivo del bosque de lenga. Dpto. de Silvicultura, Universidad de Chile - CONAF XII Región. 37 p.
- Schmidt, H. 1993.** Corta de protección en Lenga: desarrollo y crecimiento del bosque. En: Avances en Silvicultura. Primera Reunión. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Departamento de Silvicultura. pp 56-58.
- Schmidt, H. y A. Urzúa. 1982.** Transformación y Manejo de los Bosque de Lenga en Magallanes. Departamento Silvicultura y Manejo. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile. Editorial Universitaria, Santiago. Chile. 59 p.
- Schmidt, H. y J. Caldentey. 1994.** Apuntes Tercer curso de silvicultura de los bosques de lenga. CONAF - CORMA Austral - Universidad de Chile. Punta Arenas. 12-22 enero.
- Schmidt, H. y J. Caldentey. 2001.** Seguimiento Forestal y ambiental del uso de los bosques de lenga en la XII Región. Universidad de Chile. Fac. Cs. Forestales. Corporación Nacional Forestal XII Región. Intendencia de la Región de Magallanes y Antártica Chilena. Santiago. Chile. 92 p.
- Schmidt, H., J. Caldentey, S. Donoso, y K. Peña. 1996.** . Informe: Seguimiento forestal y ambiental del uso de los bosques de lenga - XII Región. Universidad de Chile - CONAF. 37 p.
- Schmidt, H., Caldentey, J. y K. Peña. 1997.** Seguimiento Forestal y Ambiental de los bosques de lenga –XII Región. Informe 1997. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile en conjunto con CONAF XII Región. 36 p.
- Schmidt, H., K. Peña y P. Dodds. 1998.** Estabilidad y efecto del guanaco sobre la regeneración en un bosque de Lenga en Magallanes. Universidad de Chile. Presentado al Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia, Chile. 6 p.
- Schmidt, H., H. Bown y A. Promis. 2000.** Desarrollo de una función general de volumen para bosques de Lenga (*Nothofagus pumilio*) en la Región de Magallanes. **En:** Primeras Jornadas de Investigación en Ciencias Forestales. 13 y 14 de Septiembre. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago. Chile. p 53.
- Schmidt, H., G. Cruz, H. Bown H., A. Promis, J. Cabello y L. George. 2001.** Apuntes Cuarto Curso de especialización: Silvicultura y Ordenación de Bosques de lenga. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Dpto. de Silvicultura; Corporación Nacional Forestal (CONAF) y Office nacional des Forêt (ONF). Punta Arenas, 2-10 de noviembre. 220 p.
- Stathers R.J., T.P. Rollersony S. J. Mitchell. 1994.** Windthrow Handbook for British Columbia Forest. B.C. Ministry of forest. Victoria. B. C. Working Paper 9401. 33 p.
- Torres, H. 1991.** Ficha Técnica: la lenga. **En:** Revista LIGNUM. Marzo 1991. Fundación Chile. Santiago. p 20.

- Troncoso, O. 2004.** Desarrollo de un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) después de la Corta de Protección en la XII Región. Memoria Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago. 46 p.
- Uriarte A. y H. Grosse. 1991.** Los bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*): Una orientación para su uso y manejo. Recopilación bibliográfica. Informe Técnico N°26. Concepción. Chile. 70 p.
- Veblen T., C. Donoso, T. Kitzberger y J. Rebertus. 1996.** Ecology of southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forest. **En:** Veblen, T., R.S. Hill, y J. Read (Eds.) 1996. The ecology and biogeography of *Nothofagus* forest pp 293-353.
- Vergara, C. 1996.** Evaluación de la regeneración en cortas de protección comerciales de bosques de lenga (*Nothofagus pumilio* Poepp. et Endl) Krasser), en la XII Región. Memoria Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago. 56 p.

**8. APÉNDICES.**

## APÉNDICE 1.

### Magnitud de daño por viento relacionando las variables topográficas y la calidad de sitio.

**Cuadro 17.** Magnitud de daño por viento en las distintas exposiciones en función de la calidad de sitio.

Calidad de sitio (m)	Número de árboles dañados (%)			Area basal dañada (%)			Volumen dañado (%)		
	Exposición			Exposición			Exposición		
	Norte	Oeste	Sur	Norte	Oeste	Sur	Norte	Oeste	Sur
<b>Regular (&lt; 20 m)</b>			79,3%			82,4%			82,3%
<b>Bueno (20-24 m)</b>	50,9%	37,1%	32,7%	49,1%	28,6%	36,2%	49,0%	28,5%	36,3%
<b>Muy Bueno (&gt; 24 m)</b>	39,1%	21,7%	23,9%	29,2%	29,3%	20,8%	29,6%	29,2%	20,9%
<b>Total</b>	<b>48,0%</b>	<b>34,6%</b>	<b>33,6%</b>	<b>43,5%</b>	<b>28,8%</b>	<b>33,4%</b>	<b>42,9%</b>	<b>28,7%</b>	<b>32,7%</b>

**Cuadro 18.** Magnitud de daño por viento en distintas altitudes en función de la exposición del terreno.

Exposición	Número de árboles dañados (%)			Area basal dañada (%)			Volumen dañado (%)		
	Altitud m.s.n.m.			Altitud m.s.n.m.			Altitud m.s.n.m.		
	280-320	320-350	350-400	280-320	320-350	350-400	280-320	320-350	350-400
<b>Norte</b>	57,6%	22,9%	57,1%	45,3%	18,9%	61,1%	46,8%	17,8%	61,8%
<b>Oeste</b>	38,0%	33,5%		44,0%	24,1%		43,6%	23,9%	
<b>Sur</b>	34,7%	31,5%		36,6%	27,5%		36,2%	25,8%	
<b>Total</b>	<b>40,5%</b>	<b>30,6%</b>	<b>57,1%</b>	<b>39,8%</b>	<b>23,7%</b>	<b>61,1%</b>	<b>39,7%</b>	<b>22,7%</b>	<b>61,8%</b>

**Cuadro 19.** Magnitud de daño por viento en distintas altitudes en función de la calidad de sitio.

Calidad de sitio (m)	Número de árboles dañados (%)			Area basal dañada (%)			Volumen dañado (%)		
	Altitud m.s.n.m.			Altitud m.s.n.m.			Altitud m.s.n.m.		
	280-320	320-350	350-400	280-320	320-350	350-400	280-320	320-350	350-400
<b>Regular (&lt; 20 m)</b>		79,3%			82,4%			82,3%	
<b>Bueno (20-24 m)</b>	43,6%	29,3%	57,1%	43,8%	22,9%	61,1%	43,9%	22,2%	61,8%
<b>Muy Bueno (&gt; 24 m)</b>	34,8%	21,1%		34,0%	15,4%		34,0%	15,7%	
<b>Total</b>	<b>40,5%</b>	<b>30,6%</b>	<b>57,1%</b>	<b>39,8%</b>	<b>23,7%</b>	<b>61,1%</b>	<b>39,7%</b>	<b>22,7%</b>	<b>61,8%</b>

**Cuadro 20.** Magnitud de daño por viento en distintos rangos de pendiente en función de la exposición.

Exposición	Número de árboles dañados (%)			Area basal dañada (%)			Volumen dañado (%)		
	Pendiente del terreno			Pendiente del terreno			Pendiente del terreno		
	0-5%	5-15%	15-30%	0-5%	5-15%	15-30%	0-5%	5-15%	15-30%
<b>Norte</b>	50,0%	49,8%	40,8%	52,8%	47,2%	30,5%	52,0%	47,4%	28,7%
<b>Oeste</b>		33,2%	38,5%		28,5%	29,4%		28,4%	29,2%
<b>Sur</b>		33,6%			33,4%			32,7%	
<b>Total</b>	<b>50,0%</b>	<b>38,2%</b>	<b>39,6%</b>	<b>52,8%</b>	<b>36,2%</b>	<b>30,0%</b>	<b>52,0%</b>	<b>35,9%</b>	<b>28,9%</b>

**Cuadro 21.** Magnitud de daño por viento en distintos rangos de pendiente en función de la calidad de sitio.

Calidad de sitio (m)	Número de árboles dañados (%)			Area basal dañada (%)			Volumen dañado (%)		
	Pendiente del terreno			Pendiente del terreno			Pendiente del terreno		
	0-5%	5-15%	15-30%	0-5%	5-15%	15-30%	0-5%	5-15%	15-30%
<b>Regular (&lt; 20 m)</b>		79,3%			82,4%			82,3%	
<b>Bueno (20-24 m)</b>	50,0%	39,6%	43,2%	52,8%	38,8%	33,0%	52,0%	39,0%	31,6%
<b>Muy Bueno (&gt; 24 m)</b>		28,8%	28,9%		25,8%	23,7%		25,9%	24,1%
<b>Total</b>	<b>50,0%</b>	<b>38,2%</b>	<b>39,6%</b>	<b>52,8%</b>	<b>36,2%</b>	<b>30,0%</b>	<b>52,0%</b>	<b>35,9%</b>	<b>28,9%</b>

## APÉNDICE 2.

### Estimación del crecimiento diametral. Modelos utilizados.

Crecimiento diametral (mm/año) para el bosque virgen			
Modelo de Regresión	R <sup>2</sup>	Error	Prob(F)
CA = - 0.007 + 2,304 x DAP	0,22	0,51	0,123
CA = 1,354 + 0,029 x DAP - 0.0002 x DAP <sup>2</sup>	0,48	0,44	0,051
CA = 1,646 + 0,010 x DAP + 5,9E-05 x DAP <sup>2</sup> - 1.5E-06 x DAP <sup>3</sup>	0,49	0,46	0,128

Crecimiento diametral (mm/año) para el Dosel de Protección			
Modelo de Regresión	R <sup>2</sup>	Error	Prob(F)
CD = 3,898 - 0,021 x DAP	0,76	0,44	< 0,001
CD = 3,236 + 0,004 x DAP - 0.0002 x DAP <sup>2</sup>	0,81	0,41	< 0,001
CD = 4,159 - 0,056 x DAP + 8,1E-04 x DAP <sup>2</sup> - 4,5E-06 x DAP <sup>3</sup>	0,84	0,40	< 0,01

## ÍNDICE

### RESUMEN

### SUMMARY

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> -----	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> -----	<b>2</b>
<b>2.1</b> <b>Objetivo General</b> -----	<b>2</b>
<b>2.2</b> <b>Objetivos específicos</b> -----	<b>2</b>
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> -----	<b>3</b>
<b>3.1</b> <b>Antecedentes generales de la especie</b> -----	<b>3</b>
3.1.1    Distribución geográfica-----	3
3.1.2    Hábitat y asociación con otras especies-----	3
3.1.3    Usos e importancia de la especie -----	3
<b>3.2</b> <b>Antecedentes de los bosque de lenga</b> -----	<b>4</b>
3.2.1    Superficie de bosques-----	4
3.2.1.1    Subtipos Forestales-----	4
3.2.2    Estructura y dinámica de los bosques de lenga -----	4
3.2.3    Silvicultura del bosque -----	5
3.2.3.1    Efectos silvícolas de las intervenciones silvícolas -----	6
3.2.3.2    Estabilidad de los bosques de lenga -----	7
3.2.4    Características productivas de los bosques de lenga -----	7
3.2.5    Regeneración de la especie -----	8
3.2.5.1    Establecimiento y densidad-----	8
3.2.5.2    Desarrollo y crecimiento en altura-----	9
<b>3.3</b> <b>Antecedentes sobre el viento y su relación con el bosque</b> -----	<b>9</b>
3.3.1    Generalidades -----	9
3.3.2    Efecto de la vegetación sobre el viento -----	10
3.3.3    Tormentas de viento y daños en el bosque -----	10
3.3.4    Factores que afectan la estabilidad de árboles individuales y masas boscosas-----	11
3.3.4.1    Características de árboles individuales -----	12
3.3.4.2    Características de los rodales-----	13
3.3.4.3    Características topográficas-----	13
3.3.4.4    Características del suelo-----	14
3.3.4.5    Condiciones meteorológicas-----	14
<b>3.4</b> <b>Acciones silviculturales tendientes a minimizar los daños por viento en los bosques.</b> -----	<b>14</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODO</b> -----	<b>16</b>
<b>4.1</b> <b>Área de estudio</b> -----	<b>16</b>
4.1.1    Ubicación geográfica -----	16
4.1.2    Clima -----	16
4.1.2.1    Precipitaciones-----	17
4.1.2.2    Vientos -----	17
4.1.3    Suelos-----	17
4.1.4    Vegetación-----	18
<b>4.2</b> <b>Método</b> -----	<b>18</b>
4.2.1    Estimación de existencias y estabilidad del bosque -----	18
4.2.1.1    Muestreo y Toma de datos en terreno-----	18
4.2.1.2    Función de volumen -----	19

4.2.2	Evaluación del Crecimiento diametral de los árboles del dosel de protección-----	20
4.2.3	Evaluación de la regeneración en el bosque intervenido -----	21
4.2.3.1	Estimación de la densidad y el ramoneo de la regeneración -----	21
4.2.3.2	Estimación de la altura dominante, crecimiento en altura y edad de la regeneración-----	21
4.2.4	Relación del daño por viento con variables asociadas al bosque y a la topografía -----	22
4.2.4.1	Relación entre el daño y características del bosque, la cosecha y la calidad del sitio-----	22
4.2.4.2	Relación entre el daño y variables topográficas-----	24
<b>5.</b>	<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS -----</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterización del bosque original -----</b>	<b>25</b>
5.1.1	Existencias-----	25
5.1.2	Existencias por calidad de sitio -----	25
5.1.3	Existencias por clase diamétrica y fase de desarrollo de los árboles -----	26
<b>5.2</b>	<b>Cosecha y Dosel de Protección -----</b>	<b>27</b>
5.2.1	Existencias en el dosel de protección e intensidad de corta -----	27
5.2.2	Cosecha y dosel de protección por calidad de sitio-----	27
5.2.3	Cosecha y dosel de protección por fase de desarrollo y clase diamétrica de los árboles ---	30
<b>5.3</b>	<b>Estabilidad del bosque luego de la corta de regeneración -----</b>	<b>31</b>
5.3.1	Caracterización general del daño -----	31
5.3.1.1	Daño por calidad de sitio-----	32
5.3.1.2	Daño por fase de desarrollo de los árboles-----	35
5.3.1.3	Daño de los árboles por clase diamétrica-----	40
5.3.2	Relación entre el daño por viento y características del bosque -----	40
5.3.2.1	Relación del daño con variables dasométricas en el bosque natural, la cosecha, el dosel de protección y la calidad de sitio-----	40
5.3.2.2	Incidencia de las variables topográficas en el daño por viento -----	42
<b>5.4</b>	<b>Crecimiento de los árboles en el bosque virgen y en el dosel de protección --</b>	<b>49</b>
5.4.1	Estimación del incremento diametral por clase diamétrica-----	51
5.4.2	Crecimiento en área basal y volumen para el bosque virgen y dosel de protección-----	52
<b>5.5</b>	<b>Evaluación de la regeneración -----</b>	<b>55</b>
5.5.1	Densidad de la regeneración y daño por ramoneo -----	55
5.5.2	Altura y edad de la regeneración dominante-----	56
5.5.3	Crecimiento en altura de la regeneración dominante-----	57
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES. -----</b>	<b>60</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.-----</b>	<b>63</b>
<b>8.</b>	<b>APÉNDICES.-----</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación del área de estudio.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2. Dimensiones de las parcelas de inventario silvícola, y distribución de las subparcelas de regeneración asociadas a ella.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. Extracción de tarugos de incremento.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Transecto sobre el que se midió la altura dominante de la regeneración; los puntos marcados en rojo indican lugares en los que se extrajeron 2 plantas de regeneración para análisis de tallo, completando 6 plantas por transecto.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5. Distribución del número de árboles por hectárea por fase de desarrollo y clase diamétrica en el bosque virgen.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6 y 7. Distribución de la densidad y área basal total por hectárea, por clase de sitio, e intensidad de la cosecha en cada una de ellas.....</i>	<i>28</i>
<i>Figuras 8 y 9. Densidad y área basal del dosel de protección por fase de desarrollo para diferentes categorías de sitio.....</i>	<i>30</i>
<i>Figuras 10 y 11. Intensidad de la cosecha por clase diamétrica, en número de árboles y área basal.....</i>	<i>30</i>
<i>Figuras 12 y 13. Existencias en el bosque virgen, composición de la cosecha y dosel de protección en número de árboles y área basal por hectárea, por fase de desarrollo de los árboles.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 14. Frecuencia de distintos niveles de daño en las parcelas de muestreo del área de estudio.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 15 y 16. Magnitud del daño por viento sobre la densidad y área basal del dosel de protección por calidad de sitio.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 17. Intensidad del daño por viento en el dosel de protección, en función de la calidad de sitio.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 18 y 19. Densidad y área basal totales por fase de desarrollo, y proporción de daño por viento al interior de cada una de ellas.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 20 y 21. Proporción del número de árboles y área basal dañada en el dosel de protección por tipo de daño, por cada 100 árboles en cada fase de desarrollo.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 22 y 23. Extensión lateral del sistema radicular y profundidad del enraizamiento en árboles caídos.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 24. Distribución de las existencias y proporción de daño en el dosel de protección por clase diamétrica.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 25. Altitud, exposición, pendiente y magnitud del daño por viento en las parcelas de muestreo sobre el área de estudio.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 26. Vista tridimensional de la ubicación de las parcelas de muestreo en las diferentes exposiciones. Las flechas indican la dirección de los vientos dominantes en la zona.....</i>	<i>44</i>
<i>Figuras 27 y 28. Existencias en el dosel de protección y magnitud del daño por viento en las exposiciones consideradas.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 29. Magnitud del daño por viento en las diferentes exposiciones consideradas.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 30. Magnitud del daño por viento en diferentes categorías de altitud del terreno.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 31. Magnitud del daño por viento en función de la pendiente del terreno.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 32. Tarugo mostrando el incremento diametral antes y después de la intervención para un árbol maduro creciendo en un sitio de 26 m de altura.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 33. Incremento diametral por fase de desarrollo de los árboles para el bosque virgen y el bosque intervenido.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 34. Crecimiento diametral de los árboles en función de la clase de sitio.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 35. Incremento diametral de los árboles por fase de desarrollo.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 36. Ecuaciones descriptivas del incremento diametral del bosque (mm/año) antes y después de la intervención.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 37 y 38. Crecimiento del dosel de protección tras 4 años de realizada la corta de regeneración, por calidad de sitio en área basal y volumen.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 39. Densidad de la regeneración e intensidad de ramoneo.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 40 y 41. Daño apical por ramoneo de guanacos (a), aspecto general de una planta no ramoneada.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 42. Frecuencia de la regeneración dominante por categoría de altura.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 43. Frecuencia y altura de la regeneración en función de la edad de las plantas.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 44 y 45. Crecimiento del último año de una planta de regeneración y detalle de una cicatriz en el tallo del crecimiento de años anteriores.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 46. Crecimiento promedio en altura de la regeneración, por categoría de altura y durante tres períodos de crecimiento evaluados.....</i>	<i>58</i>

## ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Variables consideradas en la evaluación del daño por viento.....</i>	<i>23</i>
<i>Cuadro 2. Caracterización dasométrica del bosque virgen.....</i>	<i>25</i>
<i>Cuadro 3. Distribución de las existencias del bosque natural por fase de desarrollo y clase diamétrica de los árboles.....</i>	<i>26</i>
<i>Cuadro 4. Existencias del bosque virgen, cosecha y dosel de protección por clase de sitio. ....</i>	<i>28</i>
<i>Cuadro 5. Composición del bosque virgen, cosecha y dosel de protección por fase de desarrollo de los árboles.....</i>	<i>29</i>
<i>Cuadro 6. Existencias y magnitud del daño causado por el viento en el dosel de protección en función de la calidad de sitio. ....</i>	<i>33</i>
<i>Cuadro 7. Composición del dosel de protección, fracción dañada por viento y bosque residual por fase de desarrollo de los árboles.....</i>	<i>36</i>
<i>Cuadro 8. Distribución del número de árboles dañados por viento, por tipo de daño y fase de desarrollo de los árboles.....</i>	<i>37</i>
<i>Cuadro 9. Distribución del área basal dañada por viento, por tipo de daño y fase de desarrollo de los árboles.....</i>	<i>37</i>
<i>Cuadro 10. Distribución del volumen dañado por viento, por tipo de daño y fase de desarrollo de los árboles.....</i>	<i>37</i>
<i>Cuadro 11. Coeficientes de correlación, de determinación y significancia estadística entre la intensidad del daño por viento y distintas variables consideradas. ....</i>	<i>41</i>
<i>Cuadro 12. Proporción de árboles dañados en el dosel de protección, en las distintas situaciones consideradas. ....</i>	<i>46</i>
<i>Cuadro 13. Crecimiento por año en área basal y volumen del bosque virgen y dosel de protección por calidad de sitio. ....</i>	<i>53</i>
<i>Cuadro 14. Reducción en el crecimiento observado en relación a la reducción en las existencias. ....</i>	<i>53</i>
<i>Cuadro 15. Crecimiento en área basal por calidad de sitio del dosel de protección luego de 4 años de la intervención.....</i>	<i>54</i>
<i>Cuadro 16. Relación entre el crecimiento en altura de la regeneración y su edad por categoría de altura. ...</i>	<i>59</i>
<i>Cuadro 17. Magnitud de daño por viento en las distintas exposiciones en función de la calidad de sitio. ....</i>	<i>69</i>
<i>Cuadro 18. Magnitud de daño por viento en distintas altitudes en función de la exposición del terreno. ....</i>	<i>69</i>
<i>Cuadro 19. Magnitud de daño por viento en distintas altitudes en función de la calidad de sitio. ....</i>	<i>69</i>
<b>Cuadro 20. Magnitud de daño por viento en distintos rangos de pendiente en función de la exposición. ....</b>	<b>70</b>
<b>Cuadro 21. Magnitud de daño por viento en distintos rangos de pendiente en función de la calidad de sitio. ....</b>	<b>70</b>