

CH-FC  
D. Ambiental  
16436  
2.1

ESCUELA DE PREGRADO - FACULTAD DE CIENCIAS - UNIVERSIDAD DE CHILE



## INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias que el Seminario de Título presentado por la candidata:

**LUCÍA ALEJANDRA GONZALORENA VALLEJOS**

ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación de Seminario de Título, como requisito parcial para optar al título de Biólogo con mención en Medio Ambiente, en el Examen de defensa de Seminario de Título rendido el día 8 de Diciembre de 2003.

Dr. Ítalo Serey Estay  
Director de Seminario de Título



*J. Serey Estay*

### Comisión de Evaluación de Seminario de Título

M.Sc.(c) LUIS FAÚNDEZ YANCAS

Dr. RAMIRO BUSTAMANTE ARAYA

M.Sc. CARLOS NOTON RAMÍREZ

*[Firma manuscrita]*

## Seminario de Título

Entregado a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile para  
optar al Título de Biólogo con mención en Medio Ambiente

# **BOSQUES DE ROBLE (*NOTHOFAGUS MACROCARPA*) EN CUESTA LA DORMIDA: UNA APROXIMACIÓN DESDE LA ECOLOGÍA DE PAISAJE**

*Lucía Alejandra Gonzalorena Vallejos*

Dirigida por:  
Dr. Italo A. Serey Estay  
Departamento de Ciencias Ecológicas  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Chile

Santiago de Chile, 8 de Diciembre del 2003.

# Bosques de Roble (*Nothofagus macrocarpa*) en Cuesta La Dormida: Una aproximación desde la Ecología de Paisaje

Lucía Alejandra Gonzalorenna Vallejos

Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile

*El Roble Blanco (Nothofagus macrocarpa) es una especie reconocida hace poco tiempo como tal y la información existente sobre ella es muy escasa. Se pretende ampliar el conocimiento de esta especie adoptando para ello una aproximación desde la Ecología de Paisaje. La zona escogida para el estudio, la Cuesta La Dormida, es un lugar donde la presencia humana es fácilmente reconocible, y está dentro del límite norte de la distribución del género Nothofagus. En ella, un pequeño porcentaje de la superficie está cubierta por parches de roble, mayoritariamente pequeños y que aparentemente interactúan poco. Los árboles que componen la población de robles son rebrotes de tocones con una morfología que refleja la ocurrencia de desmontes reiterados en la zona. De los resultados se estima que la estructura actual del paisaje es, preponderantemente, una consecuencia de los cambios climáticos históricos y que la influencia de la actividad humana tiene un efecto secundario.*

**Palabras clave:** Paisaje, parche, *Nothofagus macrocarpa*, Cuesta La Dormida, perturbación

*The "Roble Blanco" (Nothofagus macrocarpa) is a recently recognized species and the information about it is very scarce. We pretend to enlarge the knowledge of the species adopting a Landscape Ecology approximation. The zone chosen for the study, the Cuesta La Dormida, is a place where the human presence is easily recognizable, and it is within the northern distribution limit of the genus Nothofagus. In that zone, a small percentage of the surface is covered by "roble" patches, mainly small-sized and with little interaction among them. The trees composing the "roble" population are stumps-shoots with a morphology reflecting the continuous cuttings in this zone. From the results we estimate that the actual landscape structure is, predominantly, a consequence of the historical climatic changes and that the human activity influences have a secondary effect.*

**Keywords:** Landscape, patch, *Nothofagus macrocarpa*, Cuesta La Dormida, perturbation

## Introducción

El Roble Blanco o Roble de Santiago (*Nothofagus macrocarpa* (A.DC.) Vazq. & Rodr.) ha sido reconocida como una especie propiamente tal, hace pocos años (Vázquez y Rodríguez, 1999). Antes de eso era considerada como una variedad del roble común (*Nothofagus obliqua*), por lo que en la literatura frecuentemente se hace referencia a ella como *Nothofagus obliqua* var. *macrocarpa* DC.

Actualmente la información que se tiene sobre esta especie es escasa y muy general, y pocos estudios la consideran dentro de sus objetivos (Villaseñor y Serey, 1980; Balduzzi *et al.* 1982; Golowasch *et al.*, 1982; Casassa, 1986; Ríos, 1999; Vázquez y Rodríguez, 1999;

Ravenna, 2002), siendo menos aún los que la tienen como el objetivo mismo de estudio. Se sabe que es la especie del género *Nothofagus* que tiene la distribución más septentrional del hemisferio sur (Donoso, 1979; Casassa, 1986; Ríos, 1999) y que es una especie endémica de Chile. Además, en la Región Metropolitana es considerada como vulnerable y relictica (Golowash *et al.* 1982; Benoit, 1989).

Sin embargo, no se ha determinado un área de distribución precisa para ella. Sólo se conocen algunos lugares donde se la ha podido observar como son los cerros Vichiculén y La Campana, en la V Región; los cerros Puntiajudo, El Roble, Las Cañas de Batuco, Cuesta La Dormida y Hacienda Chicauma, en la Región Metropolitana; cerros de Aculeo y Altos de Cantillana, en la VI Región (Donoso, 1972;

Casassa, 1986; Ríos, 1999), entre otros. De todas estas, las poblaciones del Parque Nacional La Campana son las que tienen la distribución más boreal (Villaseñor & Serey, 1980; Ríos, 1999).

Una de las definiciones de ecología más utilizada es la de Andrewartha (1961) "estudio científico de la distribución y abundancia de las especies". Cada una de las áreas de la ecología se enfoca al estudio de distintos fenómenos o interacciones entre diferentes participantes. Es así como la Ecología de Paisaje estudia las relaciones espaciales de los diferentes ecosistemas que lo componen definiendo su estructura, estudia las relaciones funcionales como los flujos de energía, materiales y de especies, y estudia cómo esta estructura y estos flujos cambian en el tiempo, es decir cómo ocurre un cambio paisajístico (Forman y Godron, 1986; Turner *et al.*, 2001).

Así, el objetivo de esta memoria es ampliar el conocimiento que se tiene sobre la distribución actual de la especie *Nothofagus macrocarpa* (A. DC.) Vazq. & Rodr., (NOTHOFAGACEAE), en un área perturbada por las actividades humanas, para lo cual se utilizará una aproximación desde la Ecología de Paisaje. Se persigue establecer la relación espacial de los componentes del paisaje en cuestión, es decir, determinar su estructura horizontal. Para esto, se hace necesario generar una cartografía que permita visualizar los principales elementos de este paisaje.

Se estudiarán además algunas perturbaciones que podrían estar afectando a las poblaciones de los parches (o fragmentos) de *N. macrocarpa*, para determinar si son éstas las causantes del paisaje actual o no.

La finalidad de este estudio no es proponer medidas para la conservación de esta especie, pero se considera que efectivamente puede ser útil para ese fin. Para conservar la biodiversidad, lo primordial es saber cuál es esa diversidad que se posee, donde está localizada y en qué cantidad se encuentra. Al ser el objetivo de este estudio ampliar el conocimiento sobre una especie que ha sido hasta ahora poco estudiada, los resultados deberían facilitar la

toma de decisiones sobre medidas de conservación.

## Características Generales de la especie

Es un árbol de corteza grisácea normalmente dura y agrietada en el adulto. Hojas de tamaño muy variable, de color verde algo más oscuro que las del Roble común (*Nothofagus obliqua*) y habitualmente resinosas. La forma de las hojas es generalmente aovada a elíptica con el ápice redondeado y la base aguda, y el margen suele ser lobulado y suavemente dentado (Donoso, 1972). Su principal diferencia morfológica con *N. obliqua* es el mayor tamaño de sus nueces y de las valvas de la cúpula (Ormazábal y Benoit, 1987). Al igual que las otras especies caducifolias del género *Nothofagus*, este roble rebrota muy bien de tocón una vez que ha sido explotado (Donoso, 1972).

El roble es una especie dominante aunque presenta discontinuidades dentro de sus áreas de distribución (Donoso, 1972, Ormazábal y Benoit 1987), y por lo general se distribuye ocupando lugares con suelos profundos y fértiles, pero es capaz de adaptarse a otras características siempre y cuando exista la suficiente humedad (Ríos, 1999).

En los cerros La Campana, El Roble y en la Cuesta La Dormida "estudios de las poblaciones de roble en las altas cumbres ... muestran estructuras de edades caracterizadas por la escasez de juveniles y la ausencia de regeneración, hechos que sugieren estado de relictos" (Villagrán y le-Quesne, 1996). Estos robles serían poblaciones remanentes de los antiguos bosques que cubrieron la zona central de Chile durante el último período de glaciación (Casassa, 1986) y, actualmente, prácticamente todos los individuos en estos cerros son rebrotes de tocón.

En este momento existe una petición de la Corporación Regional del Medio Ambiente, Región Metropolitana, para declarar la especie

*Nothofagus obliqua* var. *macrocarpa* como Monumento Natural (Arcadis Geotecnica, 2000).

## Características Generales de la Cuesta La Dormida

El sector Cuesta La Dormida está ubicado once kilómetros al norte de Til-til, en los 33° L.S. y 71° L.O., y en la parte más alta de esta cuesta se ubica el límite entre las regiones Metropolitana y V de Valparaíso.

Forma parte de la zona más baja entre los cordones montañosos de los cerros "El Roble" y "Altos de Chicauma", transformándose en un paso de niebla desde la costa hacia el interior, generando una condición microclimática particular que contribuye a la permanencia del bosque caducifolio.

El Gobierno Regional Metropolitano de Santiago considera al sector de la Cuesta La Dormida dentro de la clasificación de Áreas de Preservación Ecológica (Art. 8.3.1.1 Res. 20, 1994) (Arcadis Geotecnica, 2000). Es decir, la establece como un área que será mantenida en estado natural, para asegurar y contribuir al equilibrio y calidad del medio ambiente, como así mismo preservar el patrimonio paisajístico.

Además este sector ha sido considerado como un "Lugar de Importancia para la Conservación de la Biodiversidad" (Muñoz, 1969) porque, entre otras cosas, presenta un tipo de vegetación relictual (Benoit, 1989; Casassa, 1986) que podría estar amenazada en su conservación. Esa vegetación relictual son los parches de roble.

### Clima

Los cerros que conforman el cordón montañoso donde se ubica la Cuesta La Dormida se encuentran dentro de la Región Mediterránea Sub-húmeda Litoral (di Castri y Hajek, 1976). Esto implica que tienen influencia oceánica debido a su ubicación cercana al mar.

Según los antecedentes climáticos de Santibáñez y Uribe (1991) la temperatura máxima media anual es de 19,2°C, alcanzando los 26,9 °C en el mes de enero. La temperatura mínima media anual es de 6,7°C, siendo la más baja en agosto (4°C). Así, la temperatura media anual es de 12,3°C. Por su parte la precipitación media anual alcanza los 656 mm. Estos datos corresponden a un período de 25 años de observación (Santibáñez y Uribe, 1991).

Lamentablemente no existe una estación meteorológica registrada en la zona. La más cercana es la del Fundo Santa Laura, y ha registrado precipitaciones medias anuales de 590 mm y temperaturas medias anuales de 12,1°C (Miller y Hajek, 1981). La estación de Quillota registra una temperatura media del mes más frío igual a 5,5°C, una temperatura media del mes más cálido igual a 26,8°C y precipitaciones media anual de 436,4 mm (INIA 1989).

### Suelo

"El suelo del sector de la Cuesta La Dormida deriva de granitos muy meteorizados y descompuestos lo que lo hace muy erosionable en ausencia de cobertura vegetal y en pendientes fuertes. Además tiene rocas basales de origen metamórfico y varían de moderadamente profundos a profundos de acuerdo al Estudio Agrológico de la Región Metropolitana (CIREN-CORFO)" (Gonzalorenna, 2001).

### Vegetación

La zona de la Cuesta La Dormida está dentro de la Región del Bosque Caducifolio, en la sub-asociación 4.4.1.1 *Nothofagus obliqua* var. *macrocarpa* - *Cryptocarya alba* (Roble Blanco - Peumo (Gajardo 1994). Esta sub-asociación se describe como una "comunidad que se caracteriza por la presencia en el estrato superior de un dosel continuo de Roble Blanco (*N. obliqua* var. *macrocarpa*) ocupando Peumo (*C. alba*) una posición intermedia. El sotobosque suele ser muy poco denso".

Además, el sector presenta una vegetación correspondiente al Matorral y Bosque Esclerófilo con presencia de elementos de tipo relictual (el Roble Blanco) (Gajardo, 1983).

Las observaciones más reciente indican que la vegetación de la zona de estudio tiene una formación leñosa alta, donde las especies dominantes son el Peumo y el Roble, señalándose que la cobertura es de un 80% (Arcadis Geotecnica, 2000).

### **Perturbaciones**

Una perturbación es un evento relativamente discreto que genera un cambio significativo en la estructura o en el patrón normal de un sistema ecológico (ecosistema, paisaje u otro), alterando la disponibilidad de recursos o al ambiente físico (White & Pickett, 1985; Forman y Godron, 1986).

En cuanto a las perturbaciones de origen antrópico que han afectado a la vegetación de Chile Central históricamente, los principales han sido: la agricultura; la ganadería; la actividad forestal; el fuego; el abandono de cultivos por el sobreuso de los suelos (Balduzzi, et al., 1982; Armesto et al., 1994; Grez et al., 1997). Actualmente, además se suman los problemas de contaminación y el efecto invernadero.

En el área de estudio se observa que la vegetación ha estado sujeta a estas perturbaciones, siendo las más evidentes la corta reiterada, el fuego y la ganadería. Además de estas, también hay gran cantidad de caminos y senderos.

### **Zona de estudio**

Se estudió la ladera de exposición sur del cerro de la cuesta, desde su cima hasta los 1000 msnm, altitud bajo la cual no se observaron individuos de la especie estudiada. También se utilizó como referencia, y límite de la zona de

estudio, al cordón montañoso que se continúa desde la cima en sentido oriente-poniente.

El paisaje que se definió para este estudio se compone de parches de robles rodeados por una matriz boscosa compuesta por especies esclerófilas, e interrumpido por caminos de mayor o menor envergadura. Hay parches puros de *Nothofagus* como otros donde esta especie se entremezcla con individuos de la matriz.

El representante principal de la matriz es el Peumo (*Cryptocarya alba*) distinguiéndose individuos de diferentes edades. Hay ejemplares que, por su tamaño y diámetro, denotan una edad de cientos de años, también hay individuos juveniles y gran cantidad de plántulas.

Los principales caminos que recorren la cuesta son la "Ruta G-10-F" que une a Til-til con Olmué y dos accesos que conducen al poblado de Caleu (oriente y poniente).

### **Método**

Para la elaboración de este trabajo se utilizó un receptor de GPS (*Garmin GPS eTrex Summit*) que también es altímetro y compás electrónico. Tiene una capacidad de resolución de hasta cinco metros, y en este estudio se obtuvo un promedio de 9,8 m. Las unidades de localización usadas fueron las coordenadas rectangulares UTM (Universal Transversal de Mercator).

Para el análisis de los datos y la construcción de la cartografía se utilizaron dos Sistemas de Información Geográfica (SIG). El ArcView 3.1 y el GES32.

Además se usaron cartografías de vegetación preexistentes como referencia de la zona y alguna información de SIG como guía. De esta información complementaria sólo una cobertura de curvas de nivel fue utilizada en la generación de la cartografía final.

La información necesaria se obtuvo recorriendo el perímetro de cada uno de los

parches de *Nothofagus macrocarpa* del cerro y cada cierta distancia (dependiendo de las características de cada parche, del terreno y de la señal para el GPS) se utilizó el GPS para tomar nota de las coordenadas (x,y) del lugar del punto medido, el nivel de precisión de la información, y la altitud a la que se encontraba (Anexos Tabla 1).

También se registraron características especiales de algunos de estos puntos con el fin de complementar la información del lugar lo más posible. Por ejemplo, presencia de tocones o árboles muertos, rastros de incendios o de corta, individuos en estado reproductivo, especies acompañantes, etc.

Una vez recabada la totalidad de los puntos correspondientes a cada uno de los parches de la zona determinada como de interés, se repitió el procedimiento para los principales caminos de la zona de estudio (Anexos Tabla 2).

Para analizar la información se generó una base de datos para cada uno de los parches y caminos. Esta base de datos contenía la información del GPS de todos los puntos correspondientes a cada uno de ellos. Además se generó una base de datos para aquellos puntos conspicuos (la que fue llamada "varios") que no pertenecían a ningún parche, pero que complementan la información de la zona donde estos se ubican. Luego se transformaron estas bases de datos a un formato compatible con el programa ArcView 3.1 para visualizar la totalidad de los datos tomados.

Los puntos correspondientes a un mismo parche se unieron siguiendo el orden en el cual fueron tomados, y se obtuvo los polígonos que representan a los parches.

El mismo procedimiento se hizo para los puntos de los caminos y los puntos "varios" correspondientes a árboles muertos, afloramientos rocosos, etc.

Se utilizó el software GES32 para realizar los cálculos de superficie y perímetro y para adjuntar la base de datos de cada parche.

Además de estas mediciones, se calcularon algunos índices que se usan para evaluar atributos de los parches. Éstos fueron el Índice Perimetral ( $IP$ ), el Índice de Diversidad de Patton ( $D_i$ ), el Índice de Aislamiento de un Parche ( $r_i$ ) y el Índice de Interacción entre Parches ( $I_i$ ).

Las fórmulas que describen a estos cuatro índices son:

$$IP = \frac{p}{A} \quad (\text{Forman, 1997})$$

$$D_i = \frac{p}{2(\pi A)^{1/2}} \quad (\text{Forman, 1997})$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (\text{Forman \& Godron, 1986})$$

$$I_i = \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{d_j^2} \quad (\text{Forman \& Godron, 1986})$$

donde  $p$  es el perímetro,  $A$  el área,  $\pi$  equivale a 3,1416,  $i$  es el parche estudiado,  $n$  es el número de parches vecinos considerados,  $d_{ij}$  es la distancia entre el parche  $i$  y su vecino  $j$ ;  $I$  es el grado de interacción del parche  $i$  con  $n$  parches vecinos,  $A_j$  es el área de cualquier parche vecino  $j$ , y  $d_j$  es distancia desde el borde del parche  $i$  hasta el borde del parche  $j$ .

El Índice Perimetral otorga valores bajos a fragmentos de tamaño grande, formas compactas y perímetros no quebradizos. A medida que alguna de estas características varía, el valor del índice aumenta.

El Índice de Diversidad de Patton ( $D_i$ ), es un índice de forma, y clasifica los fragmentos en distintas categorías según los valores que obtengan. Así se considerarán redondos los parches con valores de  $D_i$  menores a 1,25; Ovals-Redondos si el valor está entre 1,25 y

1,5; Ovals-Oblongos si está entre 1,51 y 1,75; Rectangulares-Oblongos entre 1,76 y 2,00; e Irregulares aquellos con valores mayores a dos.

El Índice de Aislamiento da valores altos a los parches más aislados, disminuyendo el valor del índice a medida que el aislamiento se reduce.

Por último, el Índice de Interacción le da el valor más alto al que interactúa más y el valor más bajo al con menor grado de interacción con sus vecinos.

La diferencia entre el Índice de Aislamiento y el Índice de Interacción es que el primero es la distancia promedio entre los parches considerados vecinos. En este estudio esta distancia se midió desde el centro (o centroide) del parche en cuestión, hasta el centro del parche vecino. El segundo índice en cambio, considera el área de todos los parches vecinos al parche en cuestión, y los divide por el cuadrado de sus distancias, las cuales se calculan desde los bordes.

Para el cálculo de los dos últimos índices se consideraron vecinos todos aquellos parches a los cuales se podía trazar una línea recta sin cruzar sobre otro parche.

Se hicieron además, una serie de pruebas de correlación entre algunos índices y algunas características de los fragmentos.

Finalmente se realizó un "ranking" que pondera las características consideradas de los parches. Para ello se le dio un puntaje a la superficie de cada parche, al lugar que cada parche ocupó en los índices y a la altitud promedio a la que se distribuyen. Así, para el caso de las áreas, se le dio 1 punto al parche más grande y 17 puntos al más chico. En el caso de los índices se le dio 1 punto al parche con menor valor de Índice Perimetral y 17 al de *IP* mayor; se le dio 1 punto al parche que obtuvo el menor valor de Índice de Aislamiento y 17 puntos al que obtuvo el valor más alto; y se le dio 1 punto al parche que se adjudicó el mayor valor de Índice de Interacción y 17 puntos al que obtuvo el menor valor. En el caso del Índice

de Diversidad de Patton, se le dio 1 punto a los parches redondos, 2 a los oval-redondos, 3 a los oval-oblongos, 4 a los rectangulares-oblongos y 5 puntos a los irregulares. Finalmente en el caso de la altitud, se le dio 1 punto al parche que se distribuye a una mayor altitud promedio y 17 puntos al que ocupa la menor altitud.

Los puntos obtenidos por cada parche en cada una de las seis categorías evaluadas se sumó y, el parche que sumó el mayor puntaje obtuvo el lugar n° 1 en el "ranking". La intención de este ranking es acercarse al orden que tendrían los parches si se calculara su probabilidad de extinción.

Para evaluar el estado de perturbación de la población de robles, se seleccionó una muestra de 100 individuos vivos (con al menos un vástago vivo) donde, en cada uno de ellos, se midieron las siguientes variables como evidencias de presión o de perturbación: a) número de vástagos vivos por tocón, pues se sabe que muchas poblaciones arbóreas que crecen en un ambiente desfavorable se regeneran vegetativamente al ser perturbados (Casassa, 1986); b) diámetro del vástago mayor (más grueso), como una medida del tiempo en que las perturbaciones han venido ocurriendo; c) evidencias de corta, donde se diferenció entre cortas antiguas y cortas recientes (menor a cinco años); d) rastros de fuego; e) descortezado; f) señales de pastoreo, que incluye evidencias de ramoneo, la existencia de fecas de ganado en un radio de 1 m desde la base del árbol, y la aparición de "rebrotos chicos", denominados así porque tienen una altura no mayor a los 30 cm. y un diámetro menor a 5 milímetros.

Se tomaron también las medidas (ancho y largo) de cada uno de los tocones para estimar el área basal de los individuos.

Además, se registró la presencia de diferentes especies (leñosas, helechos, musgos, líquenes y hongos) que se encontraron creciendo en los tocones. Estas mediciones se consideran como observaciones comunitarias y evidencian el dinamismo de las diferentes especies estrechamente asociadas a *Nothofagus* que crecen en el bosque.

Las inferencias, deducciones y discusiones que se efectúan se apoyan en los resultados que se han obtenido del conjunto de variables seleccionadas para el estudio de los *Nothofagus macrocarpa* que componen los parches. Es decir, el estado de los parches y cómo esa condición repercute sobre el paisaje, será discutido en base a las evidencias obtenidas de las plantas.

1455 msnm hasta los 1085 msnm (Anexos Tabla 1). El conjunto de estos parches se localiza, preferentemente, en las laderas de exposición sur de diferentes quebradas e inmersos dentro de la matriz de vegetación esclerófila. Aquellos que se sitúan a menores altitudes se encuentran por debajo de la cota del camino que une Til-til con Olmué.

## Resultados

### 1. Estructura del Paisaje Actual

Se encontraron 17 parches en la zona de estudio (Figura 1) los que se distribuyeron desde los

De los 17 parches que componen actualmente este paisaje, cuatro se han originado por el trazado de caminos. Estos son el parche n° 2, que está separado del parche n° 1 por el camino a la antena; el parche n° 4, que se separa del n° 3 por un camino menor (no georreferenciado); y, finalmente, el camino Til-til - Olmué separa a los parches n° 12 y n° 14 de los parches n° 10 y n° 11 respectivamente.

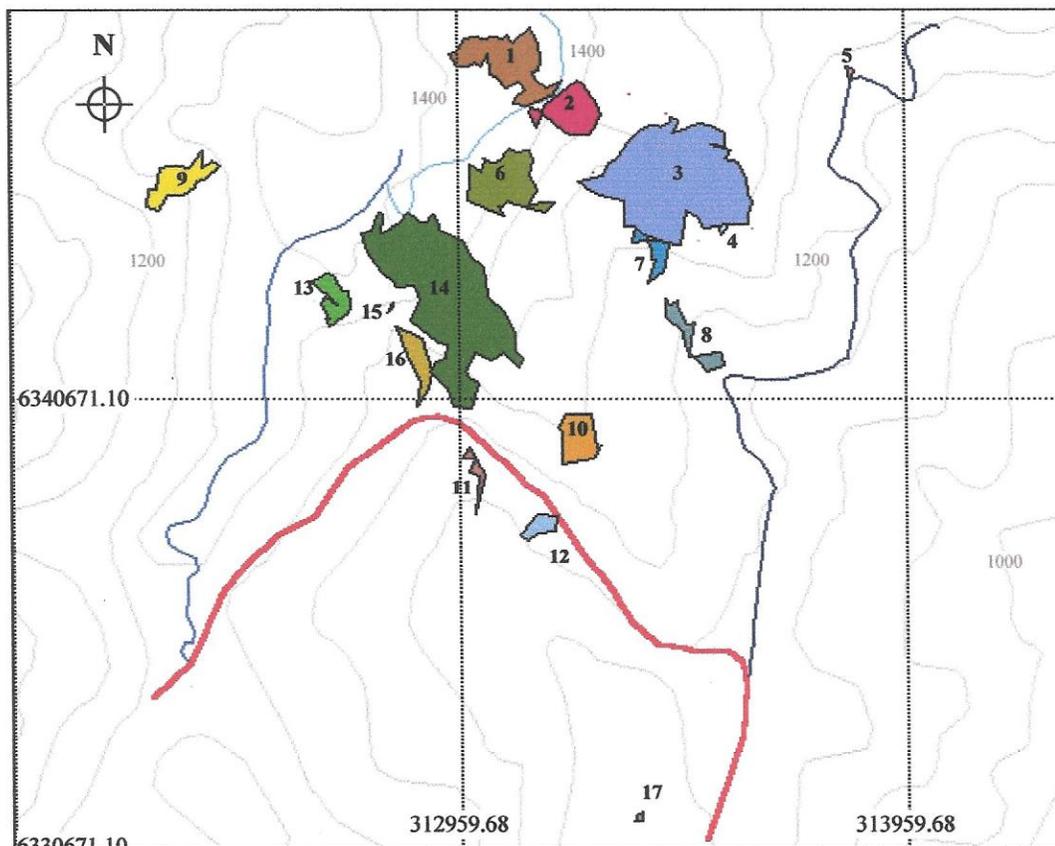


Figura 1. Cartografía de los parches de *Nothofagus macrocarpa* de la Cuesta La Dormida, Región Metropolitana. Base Cartográfica IGM. Escala 1:16.364. Grilla de 1000 m por 1000 m. Curvas de Nivel cada 50 m. • Puntos varios; / Ruta G-10-F; / Caleu Oriente; / Caleu Poniente; / Camino antenas

Los parches n° 1, 3, 6 y 14 son los que ocupan las distintas cimas de este macizo montañoso y son también los más extensos y cubren casi la totalidad de las laderas donde se ubican. Por el contrario, los parches n° 7, 8, 9, 11, 16 y 17 son de menor tamaño y se encuentran estrechamente asociados a cursos de agua. Los restantes siete parches se encuentran en situaciones intermedias, en lo que a grado de asociación con quebradas se refiere.

Al observar la cartografía de la zona de estudio se puede pensar que, desde el punto de vista del paisaje, probablemente deberían haber sido considerados como un solo parche algunos fragmentos que fueron catalogados como diferentes. Este es el caso de los parches uno y dos; los parches tres, cuatro y siete; y los parches 14, 15 y 16.

La diferencia de percepción que se tuvo en terreno y la que se tiene con la cartografía se debe principalmente a dos cosas. Primero, a que entre los parches n° 1 y 2 y entre los parches n° 3 y 4, existen caminos que separan físicamente uno del otro. Segundo, a que entre los parche n° 3 y 7 y también entre el parche n° 14 y los parches n° 15 y 16 existen profundas quebradas que introduce una separación de tipo topográfica.

Las áreas de los 17 fragmentos variaron entre 88,02 m<sup>2</sup> (parche n° 15) y 6,75 hectáreas (parche n° 14) (Figura 2) lo que representa una diferencia de tres órdenes de magnitud entre el parche más chico y el más grande (Anexo Tabla 3). De éstos 17 fragmentos sólo cinco presentan áreas que sobrepasan una hectárea y tan sólo dos tienen áreas mayores a las seis hectáreas. Incluso los tres parches más pequeños (n° 5, 15, 17) no llegan a los 300 m<sup>2</sup>. Esto indica que este paisaje está caracterizado por la presencia de pocos parches grandes y muchos parches pequeños, característica que se comparte con otros bosques fragmentados (Grez *et al.*, 1997; Bustamante y Castor, 1998).

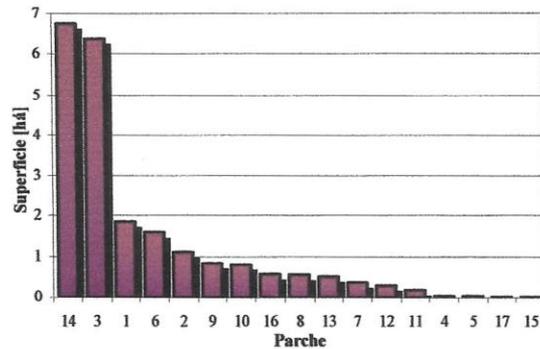


Figura 2. Superficie de los parches encontrados en el sector de Cuesta La Dormida, ordenados de mayor a menor área.

El área total de los parches es de 21,8 hectáreas de bosque de *Nothofagus macrocarpa* distribuidas dentro de una superficie mayor de 300 hectáreas, lo que representa el 7% del total. De estas casi 22 hectáreas, los dos parches más grandes (n° 14 y 3) aportan con más del 50% del total (Figura 3).

Además de los parches antes nombrado se encontraron siete individuos adultos “aislados” creciendo dentro de la matriz del área, los que se pueden considerar como “micro-parches”. No todos estos micro-parches fueron georreferenciados por lo que no todos son observables en la cartografía

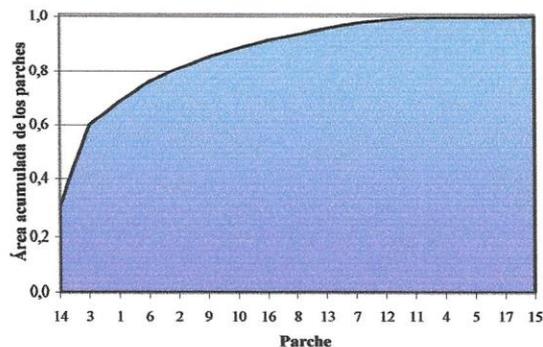


Figura 3. Proporción de área acumulada de cada parche, ordenados desde el de mayor superficie hasta el más pequeño.

**Índices**

Los perímetros de los parches fluctuaron entre los 62,38 m (parche nº 15) y los 1647 m (parche nº 14) lo que hace una diferencia de 26 veces entre ambos valores extremos. Esta información se utilizó para el cálculo del Índice Perimetral (IP) y para el índice de Diversidad de Patton (D).

El Índice Perimetral por definición, se relaciona de forma inversa con la superficie de los parches (en la Figura 4 se observa esta situación). Esto está indicando que los parches de mayor tamaño (parches nº 3, 14) tienen, en relación a su área, menos perímetro que los parches más pequeños (parches nº 5, 15, 17) (Grez et al., 1997).

Como se puede observar en la fórmula de este Índice, éste está explícitamente relacionado con la superficie de los parches. Sin embargo, para parches con áreas similares, como por ejemplo el nº 3 y el nº 14, adquiere relevancia la forma de éstos al determinar si el valor del Índice es mayor o menor.

En el caso de este paisaje, los parches que obtuvieron valores menores de IP son los que se distribuyen en la zonas más altas de la cadena montañosa.

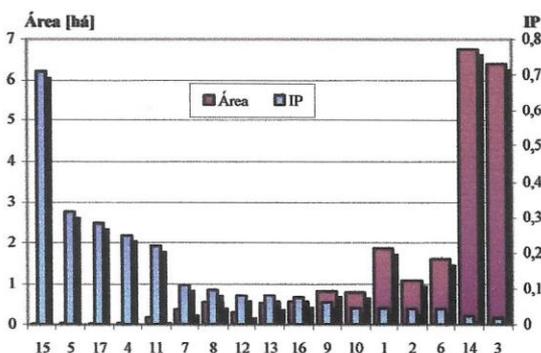


Figura 4. Relación inversa entre la superficie [há] de los parches y sus respectivos Índices Perimetrales.

El Índice de Diversidad de Patton (D<sub>i</sub>) clasificó a los parches de la siguiente forma:

- parches nº 10, 12 y 17: redondos
- parches nº 2, 3, 4 y 5: ovales redondos
- parches nº 6, 9, 13 y 16: ovales-oblongos
- parches nº 1, 7, 14 y 15: rectangulares - oblongos
- parches nº 8 y 11: irregulares

Si se observa la cartografía, esta clasificación tiene cierta concordancia con la morfología de los fragmentos y no tiene relación con el tamaño de éstos pues dentro de cada categoría hay parches de tamaños muy diferentes. Sin embargo, sí es efectivo que, dentro de cada categoría, los parches con mayores áreas tienen un IP menor (Fig. 4).

En cuanto al Índice de Aislamiento (r<sub>i</sub>) el parche nº 17 resultó ser el más aislado, seguido por los parches nº 9 y 5. Estos tres parches son periféricos y forman lo que se podría denominar los "vértices" del área de estudio. En cambio el parche nº 15, ubicado más centralmente en el paisaje, fue el menos aislado de todos (Fig. 5).

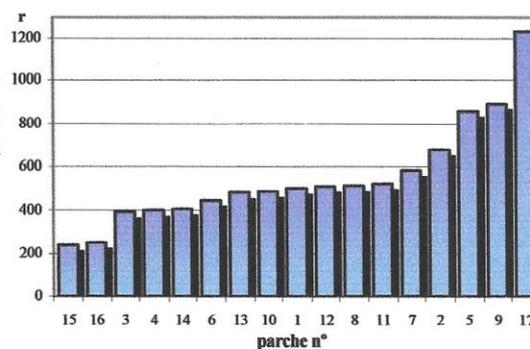
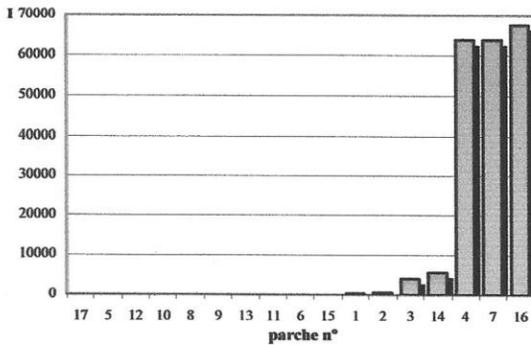


Figura 5. Grado de aislamiento de los parches de la Cuesta La Dormida ordenados en orden creciente de r.

Para el Índice de Interacción (I) se obtuvieron valores muy desiguales (Fig. 6). Los parches nº 17 y cinco obtuvieron valores menores a I=1 (I<sub>17</sub>=0,042; I<sub>5</sub>=0,816), en cambio los parches nº cuatro, siete y 16 lograron valores superiores a I=60.000 (I<sub>4</sub>=63.801,440; I<sub>7</sub>=63.804,141; I<sub>16</sub>=67.501,753). Es decir, son los parches rodeados por otros parches los que interactúan más, independientemente de sus áreas.

Sin embargo, si se excluyen los valores más altos de I, por razones que se discutirán más

adelante, se obtiene que son los parches que conforman el “núcleo” de la zona de estudio los que tienen un mayor grado de interacción. Por la disparidad ente los valores, en el Anexo Gráficos 1, 2 y 3, se detallan los distintos valores de interacción por medio de una subdivisión del gráfico de la Fig. 6.



**Figura 6.** Grado de interacción ( $I$ ) de los diferentes parches. Debido a la gran diferencia en los valores obtenidos para los parches, no son observables a esta escala, aquellos con índices menores a 100.

Por su parte, de las pruebas de correlación que se hicieron se obtuvo que son significativas ( $\alpha = 0,05$ ) las siguientes comparaciones:

- Altitud Promedio de cada parche e Índice de Aislamiento ( $r = -0.463$ );
- Altitud Promedio e Índice de Interacción ( $r = 0.582$ );
- Altitud Promedio, Altitud Máxima y Altitud Mínima con la Distancia al Parche más Cercano ( $r = -0.658$ ,  $r = -0.559$  y  $r = -0.680$ , respectivamente); (Anexos Tabla 5).

Finalmente, según los resultados del ranking calculado, es el parche n° 17 quien ocupa el primer lugar, seguido por los parches n° 5 y 11. Es decir, son estos parches los que tienen la mayor probabilidad de extinguirse si se consideran como indicadores de vulnerabilidad al área, a los índices calculados, y a la altitud promedio de distribución. Por el contrario, los parches n° 3, 14 y 6 son los que ocupan los últimos lugares en este ranking y, por lo tanto, serían los que tienen menos probabilidades de extinguirse.

Ranking	Parche n°
1°	17
2°	5
3°	11
4°	12
5°	8
6°	9
7°	15
8°	7
9°	10
10°	13
11°	4
12°	16
13°	2
14°	1
15°	6
16°	14
17°	3

**Tabla 1.** Ranking de los 17 parches según su vulnerabilidad de extinción.

El resultado numérico de los índices calculados se muestra en los Anexos Tabla 4, y el detalle del cálculo del ranking en los Anexos Tabla 6.

Así, sintetizando la información entregada por los índices y la estructura del paisaje, se tiene que, actualmente, en la zona alta de la Cuesta La Dormida se encuentran 17 parches de *Nothofagus macrocarpa*, cuyos tamaños son, en general, reducidos y donde más de la mitad de ellos presentan niveles de interacción bajos. Más aún, los resultados muestran que existe una tendencia que indica que, a medida que se descende por la ladera del cerro se encuentran parches más aislados y con menor grado de interacción. Además, al ponderar la información que se ha obtenido, se tiene que es el parche n° 17, un parche de pequeño tamaño, aislado y que se ubica a una baja altitud, el que ocupa el primer lugar en el “ranking de vulnerabilidad” de extinción.

En cuanto a la metodología que se utilizó, el haber considerado como parches diferentes todos los fragmentos que en terreno dieron la impresión de estar separados, tiene consecuencias al calcular algunos índices, principalmente el Índice de Interacción. Según este índice los parches más interactuantes son tres fragmentos pequeños (menor a 1 ha) que,

eventualmente, podrían pertenecer a los parches nº 3 y nº 14. De ser así, probablemente el orden de los parches variaría. De todas formas, esto no afecta la comprensión del paisaje como conjunto.

Existen estudios de paisaje que utilizan la "distancia al parche más cercano" para describir un paisaje (Grez *et al.*, 1997; Bustamante y Castor, 1998). Sin embargo, se consideró que el Índice de Aislamiento utilizado en este estudio, permite cuantificar en forma más global el estado del paisaje como un todo. Eventualmente podría ocurrir que dos parches estuvieran muy cerca el uno del otro, pero ambos muy alejados del resto del grupo de fragmentos. En este caso, esos dos parches tendrían una corta distancia al parche más cercano pero, aún así, serían parches aislados en el paisaje.

## 2. Evidencias de Perturbación

### a) Número vástagos vivos por tocón

Los individuos contabilizados mostraron en promedio de seis vástagos vivos por árbol, siendo el mínimo uno y el máximo 33 (Figura 7). Sin embargo, en un caso, todos los ejes del árbol estaban cortados aún cuando algunos estuvieran vivos.

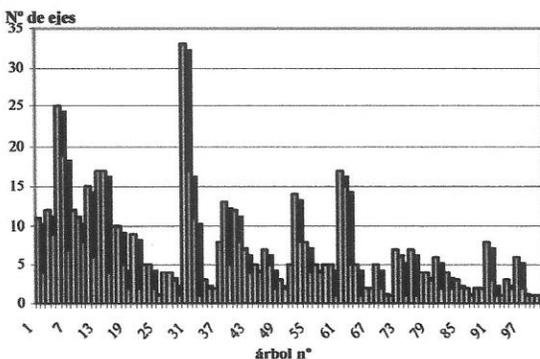


Figura 7. Número de ejes vivos que presentaron los 100 individuos muestreados.

A su vez, lo más frecuente fue encontrar entre uno y tres ejes por árbol (Figura 8), resultando

la Moda igual a 2, y la Mediana igual a 4. Se observa en el gráfico que el 60% de la población presenta más de tres ejes de crecimiento.

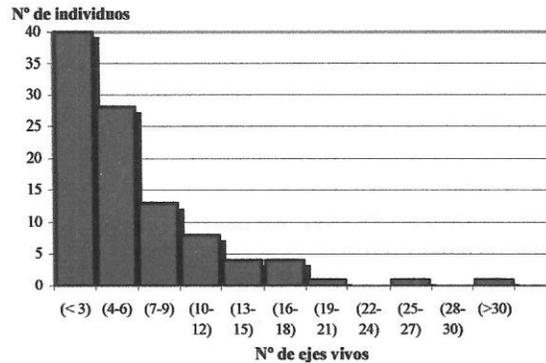


Figura 8. Frecuencia de individuos en categorías de número de ejes vivos.

La observación de ramas cortadas hace poco tiempo (en la última temporada) y apiladas en las cercanías de los árboles, indican que la explotación de esta especie sigue ocurriendo.

### b) Diámetro del vástago mayor

En cuanto a esta variable, también se obtuvo un rango amplio. Hubo individuos cuyo vástago mayor apenas sobrepasó los 5 cm de diámetro y otros árboles donde éste medía más de 25 cm (Figura 9). El promedio del diámetro del vástago mayor de los 100 árboles fue de 11,9 cm, sin embargo hay que destacar que en tres ocasiones se registraron árboles cuyo vástago mayor se registraron aun cuando estaba vivo, se encontraba cortado. En el caso del árbol al que se le contaron 33 vástagos vivos, el diámetro de su eje mayor fue de 15 cm.

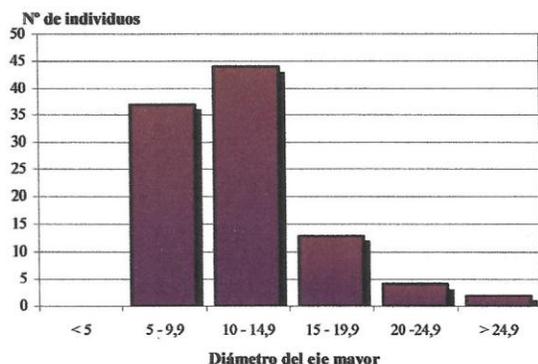


Figura 9. Número de individuos en las diferentes categorías de diámetro del eje mayor.

### c) Evidencias de corta

Todos los árboles presentaron evidencias de desmonte. De éstos, 55 mostraban signos de corta reciente y 88, evidencias de cortas antiguas (Figura 10). De los árboles cortados recientemente, al menos cuatro habrían sido cortados en la última temporada puesto que se encontraron vestigios de esto en el lugar.

### d) Rastros de fuego

Se encontró que casi la mitad de los individuos escogidos (46 árboles) presentaron algún signo de haber sido afectados por fuego (Figura 10). Sin embargo, estas señales rara vez se presentaron de forma agresiva en los árboles.

### e) Descortezado

A pesar de que en las reiteradas visitas al sector de la Cuesta La Dormida se encontraron varios individuos con evidentes señales de haber sido descortezados, entre los cien individuos que se escogieron para contabilizar las perturbaciones, sólo se encontró un árbol con muestras de esta acción (Figura 10).

### f) Pastoreo

En esta sección, ocho individuos mostraban signos de haber sido ramoneados y siete tenían fecas dentro del radio de un metro de la base del tocón. Tres de estas deposiciones correspondían a vacuno, tres a caballo y una a cabra. Finalmente, 17 de los árboles que se escogieron presentaban rebrotes chicos, creciendo en la zona más periférica de la base de los tocones.

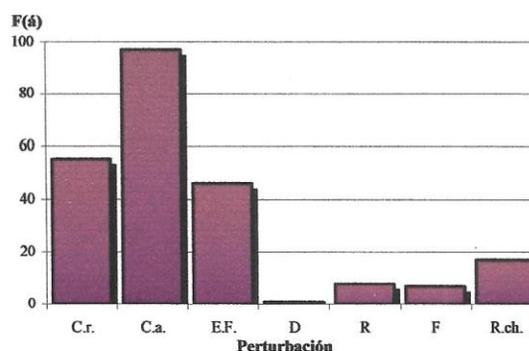


Figura 10. Número de árboles que presentan algún tipo de perturbación. C.r. = Corta reciente; C.a. = Corta antigua; E.F. = Evidencias de Fuego; D = Descortezado; R = Ramoneo; F = Fecas; R.ch. = Rebrotos chicos

## 3. Tocones

La totalidad de los individuos medidos presentaban tocones de forma elipsoidal. Por esta razón se utilizó la ecuación del área de una elipse para estimar el área basal de los árboles. Con ésta fórmula se obtuvo que las áreas basales de los cien tocones fluctuaron entre los 0,02 m<sup>2</sup> y los 4,12 m<sup>2</sup>, siendo el promedio de 0,94 m<sup>2</sup> (Figura 11).

Estas áreas se correlacionaron con el número de ejes vivos (Anexos Gráfico 4) y con el diámetro de su eje mayor y se obtuvo que la primera comparación es significativa y positiva ( $\alpha=0,05$ ).

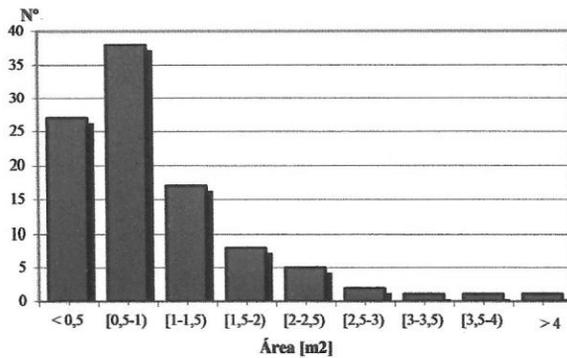


Figura 11. Número de árboles según categorías para el área basal de los tocones.

#### 4. Observaciones comunitarias

A pesar de que durante la realización de este estudio se observaron individuos con producción de semillas, sólo se encontró una plántula de roble (Tabla 2) y ésta se encontraba creciendo sobre el tocón de su “madre”. En cambio, se observó la existencia de otras especies de plantas vasculares en 27 de los 100 tocones (Tabla 3). También se observaron musgos, líquenes y hongos (Tabla 2).

Observaciones	Frecuencia
Plántulas de Roble	1
Otras especies vasculares	27
Musgos	90
Líquenes	100
Hongos	25

Tabla 2. Frecuencia con la cual se observaron distintos organismos creciendo sobre la base de los individuos considerados en la sección “señales de perturbación”

Especie	Frecuencia
Azara sp	16
Lardizabala sp	5
Luzuriaga sp	2
Mutisia sp.	4
Quillaja saponaria	1
Ribes punctatum.	7
Schinus sp	1
Adiantum sp.	6

Tabla 3. Frecuencia de observación de especies vasculares creciendo sobre los 27 tocones que presentaron este tipo de organismos.

Además de las variables consideradas en el análisis de señales de perturbación, dentro de los parches fue posible reconocer otros signos de la actividad humana. Aparte de los cuatro caminos que aparecen en la cartografía, hay una serie de otros caminos menores tanto para el tránsito de vehículos motorizados como senderos para personas; existen torres (antiguas y nuevas) de tendido eléctrico (parche nº 14); las zonas próximas a la carretera están cercadas con estructuras de alambre de púas y tenían gran cantidad de escombros y restos de los trabajos que se estuvieron llevando a cabo hasta octubre del 2002 en el camino que une Til-til con Olmué. También se observaron rastros de un antiguo horno carbonero actualmente en desuso (parche nº 6) y, en la zona más alta del cerro, muy cerca de la antena de telecomunicaciones, había un refugio de material ligero que, probablemente pertenecía a algún pastor de la zona (parche nº 1).

También se pudo observar gran cantidad de plántulas de *Cryptocarya alba* creciendo en los bordes de los parches de *Nothofagus*. Por el contrario, con poca frecuencia se observó producción de semillas en los robles, regeneración natural de ellos, o individuos que tuvieran un solo tronco o fustes de gran tamaño. En este sentido, sólo se encontró un individuo juvenil, creciendo en la parte más baja del parche nº 11 y muy cerca de un curso de agua. También sólo uno de los parches estaba conformado por árboles con hasta 3 fustes y todos ellos de gran tamaño.

Finalmente, llamó la atención la presencia de individuos muertos en el perímetro de varios parches, así como también algunos en su interior.

#### Discusión

Para sintetizar sobre el paisaje es conveniente definir una escala de observación donde interpretar los resultados.

Si se adopta una escala de observación regional, se puede definir un paisaje mayor que

incluye toda la cadena montañosa que encierra la distribución más boreal de la especie *Nothofagus macrocarpa*. Este gran paisaje abarcaría los cerros La Campana, El Roble, La Dormida, y Altos de Chicauma. Cada uno de estos cerros representarían distintos parches donde esta especie se distribuye. De esos, el parche de La Dormida es el de menor tamaño. Hacia el sur el último parche es el de Altos de Chicauma (Ríos, 1999), distante 12.82 km del de la Dormida. La distribución del Roble se discontinúa luego hasta el cordón montañoso de los Altos de Cantillana en la VI Región.

Al centrar la discusión en el parche que representa La Dormida, adoptando una escala de observación local, este "mega parche" puede ser considerado como un paisaje por sí solo. De acuerdo a los resultados de este seminario, este paisaje cuenta con 17 fragmentos que, en total cubren el 7% de la superficie de la zona de estudio. El porcentaje restante corresponde, casi en su totalidad, a la matriz de vegetación esclerófila.

De los cuatro índices utilizados para describir aspectos del paisaje, los dos primeros ( $IP$  y  $D_i$ ) entregan información sobre las características propias de cada uno de los parches. Los dos siguientes en cambio ( $r_i$  e  $I_i$ ), nos dan una visión global de cómo se distribuye el conjunto de parches en el paisaje. Es decir, son estos últimos dos, los índices de estructura de paisaje propiamente tal. Los valores numéricos que resultan del cálculo de estos dos índices permiten caracterizar la distribución actual de los parches. Cada uno de los cuatro índices por separado, nos entrega distintos órdenes de vulnerabilidad para los parches según los aspectos que cada uno de ellos considera.

Así, los resultados del  $IP$  nos indican que, al considerar la relación entre el perímetro y el área, son los parches más pequeños (n° 4, 5, 15, 17) los más vulnerables. Los parches de áreas mayores, en cambio, corren varias veces menos riesgo. Esto está relacionado con que a medida que los parches son más pequeños tienen más superficie en contacto con la matriz y las poblaciones tienden a ser más vulnerables a la extinción por riesgos de tipo demográfico,

ambiental y genético (Gilpin, 1987; Goodman, 1987).

En función del Índice de Forma ( $D_i$ ) los parches que pertenecen a la categoría de irregulares serían los más vulnerables seguidos por los rectangulares - oblongos. A estas categorías pertenecen los parches n° 8 y 11, y los parches n° 1, 7, 14 y 15, respectivamente. En cambio los redondos serían los de menor grado de vulnerabilidad (parches n° 10, 12, 17). El motivo es el mismo que en el  $IP$  pues, si se consideran dos parches con igual área, uno irregular tiene más superficie en contacto con la matriz que uno más regular o redondo (Bustamante y Grez, 1995). Sin embargo, este índice no discrimina entre áreas de diferente tamaño. Es así como, con la información entregada solamente por este índice, el parche n° 14, que tiene una superficie mayor a las 6 hectáreas, sería más vulnerable que el parche n° 17, que sólo tiene 220 m<sup>2</sup> de área.

Los efectos que podría tener la matriz sobre los parches son conocidos como "efecto borde" (Forman y Godron, 1986; Bustamante y Grez, 1995; Bustamante *et al.*, 2003) y estos podrían afectar la regeneración del roble. Siendo esta una especie decidua, los fragmentos están más propensos a ser invadidos por especies de la matriz (Janzen, 1983; Laurance, 1997; Viana *et al.*, 1997), como el Peumo en el caso de La Dormida.

Por otro lado, se tiene que la fisonomía y la estructura vertical de todos los parches, es similar y está dada especialmente por el hecho que casi todos los árboles actuales son rebrotes de tocones. Esto coincide con la descripción de Casassa (1986) para las poblaciones de roble del cerro La Campana, y con las poblaciones de bosques de *Nothofagus glauca* (Bustamante *et al.*, 2003).

Desde el punto de vista del  $r_i$ , los parches más vulnerables resultaron ser los n° 5, 9 y 17, y los menos vulnerables, los n° 3, 4, 15 y 16. Con el  $I_i$ , que también usa la distancia entre parches pero considera además el área de los parches vecinos, se repiten los parches n° 5 y 17 como los más vulnerables, pero no coinciden en el n°

9. En el otro extremo, entre los parches con menor grado de vulnerabilidad, sólo se repite el parche n° 16. Este índice es importante de considerar pues refleja la vulnerabilidad de un fragmento en el sistema. Si un parche tiene una baja probabilidad de interactuar con sus vecinos, tiene mayor riesgo de extinguirse, aun cuando su tamaño no sea tan menor. Según este índice, en este paisaje hay parches chicos que son menos vulnerables que parches más grandes porque sus vecinos están cerca y son de superficies muy grandes. En su mayoría, los fragmentos menos vulnerables según este índice, se distribuyeron más centralmente, lo que resulta de la estructura misma del paisaje.

La mayoría de los parches que tiene el paisaje estudiado son pequeños, aislados e interactúan poco, lo que genera una alta vulnerabilidad de ellos. Aún cuando algunos se clasifiquen como redondos, esa condición no es suficiente para garantizar su permanencia.

Cada índice por separado entrega una visión particular sobre cuál o cuáles son los fragmentos más vulnerables. Sin embargo, para tener una visión más integrada de la situación de los distintos parches en el paisaje, es importante considerarlos a todos en conjunto y considerar también el área de cada uno, además de la altitud a la que se distribuyen. Esto último es importante pues a menores altitudes el clima es más seco y caluroso, dos condiciones que se consideran poco adecuadas para el crecimiento de *Nothofagus* (Simpson, 1979; Heusser, 1984). Por esta razón es que aquí se considera que este ranking se acerca mejor al orden que deberían tener los parches si se pudiera estimar su probabilidad de extinción.

Por otra parte, el parche n° 17 es el único que tiene una estructura vertical diferente. En él, los pocos individuos que lo conforman, son de gran tamaño y con grandes fustes. Aún cuando sea un parche muy pequeño y a pesar de que se distribuye a baja altitud, las características únicas de sus árboles y el hecho de que esté fuertemente asociado a una quebrada que tiene agua incluso en verano, permiten rebatir su primer lugar del ranking de vulnerabilidad. De acuerdo a estas características se plantea que no

sería el parche n° 17 el más vulnerable, sino el n° 5 que, además de tener poca superficie, es un parche aislado, que se ubica a la orilla de uno de los caminos que conducen a Caleu haciéndolo un parche accesible, y donde las características morfológicas de los individuos dan cuenta de que han sido perturbados.

De todas formas, con los resultados de este ranking de vulnerabilidad de los parches de la Cuesta La Dormida, se puede proponer que los parches que se ubican en los últimos lugares, es decir los menos vulnerables, son los más importantes de conservar pues, además de ser los más grandes, se distribuyen en zonas donde las condiciones climáticas son las menos desfavorables de la zona.

En cuanto a la población de robles, el efecto de perturbación “número de vástagos vivos por tocón” fue utilizado como un indicador de la presión que se ha ejercido sobre los árboles y no como una medida del potencial biológico de la especie. Esto porque los robles, al ser cortados, responden regenerando uno o más brotes desde la base del tocón.

El proceso de desmonte y corta de vástagos ha ocurrido reiteradamente sobre los individuos del bosque. Es así como, además de los ejes vivos, es frecuente observar ejes muertos cortados desde la base. Así, mientras mayor sea el número de vástagos que presenta un tocón, mayor habría sido la intensidad de perturbación a la que ese individuo ha estado sometido, aun cuando no haya alcanzado niveles que provocaran su muerte.

Si se considera que naturalmente estos árboles llegan a tener hasta tres ejes de crecimiento (Ravenna, 2002), se puede suponer que el 60% de la población, que según los datos tienen más que ese número de ejes, los ha desarrollado en respuesta al desmonte. Sin embargo, como en este análisis sólo se consideraron los ejes vivos de los individuos muestreados, puede que algunos de los que sólo tuvieron uno, dos o tres ejes vivos, hayan tenido además otros ejes muertos que no fueron considerados. Por esta razón, probablemente este 60% de la población evidentemente

afectado por las perturbaciones, sea una subestimación del porcentaje real de árboles afectados por la corta.

Por otro lado, el amplio rango del número de vástagos vivos, evidencia la intensidad de la intervención antrópica, pero también puede ser interpretado como una muestra de la capacidad de los individuos de *Nothofagus macrocarpa* de reponerse a esta perturbación.

La población muestreada no tiene representantes en la primera categoría de diámetro del eje mayor (Figura 9). Esto ocurre porque sólo se midió el diámetro del eje más grande en cada árbol y no el diámetro de todos los ejes. Esta variable "diámetro del eje mayor", ha sido utilizada en este estudio como un estimador del tiempo durante el cual el desmonte ha ocurrido en esta población. En los robles de la Dormida, se encuentra con mayor frecuencia tocones cuyo eje mayor tiene un diámetro reducido (menor a 15 cm). Esto nos indica que es una población de vástagos relativamente joven rebrotados desde los tocones de los individuos originales. Sin embargo, la amplitud del rango de esta variable es una muestra de que el desmonte es un tipo de perturbación que se ha dado por largo tiempo.

No hay estudios sobre tasas de crecimiento del Roble Blanco por lo que no es posible estimar con precisión el tiempo transcurrido desde que cada árbol fue cortado. No obstante, se puede tener una idea usando valores de crecimiento medio anual del DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de plantaciones de *Nothofagus obliqua* en la X región. Estos valores fluctúan entre los 0.40 y 0.94 cm/año (Donoso y Lara, 1999).

Ciertamente las tasas de crecimiento varían mucho según las condiciones climáticas, el suelo, y la edad de los árboles pero, sólo para hacer una estimación, se utilizó el menor de estos valores asumiéndolo como el más cercano al que podrían tener los Robles de La Dormida. Con este valor se puede decir que los árboles cuyo vástago mayor tiene más de 20 cm de diámetro, tienen ejes que provienen de brotes que aparecieron hace alrededor de 50 años y

luego no han vuelto a ser cortados. En cambio, aquellos que no sobrepasan los diez centímetros, habrían aparecido hace 20 años o más. Se podría decir entonces que, de acuerdo a los árboles que se midieron, hace al menos 50 años que la población de robles de la Cuesta La Dormida viene siendo cortada continuamente.

La perturbación más frecuente en la población de robles de La Dormida es el desmonte. Todos los árboles considerados mostraban evidencias de corta, y más de la mitad de ellos tenían vástagos cortados en los últimos dos o tres años puesto que el color de la madera expuesta era aún de color claro.

Como evidentemente existe bastante vigor en la zona basal de los robles, pareciera que el desmonte no ha sido capaz de afectar la tasa de mortalidad de la población. Los árboles, una vez que son cortados, rebrotan. Sin embargo, esta perturbación sí ha afectado la morfología de los *Nothofagus*. Actualmente estos árboles no tienen un solo fuste robusto, ni tampoco un tronco partido desde la base en dos o tres ejes gruesos, como sería lo normal. Los robles de la Cuesta La Dormida son tocones con muchas protuberancias de los cuales emergen varios ejes cilíndricos, más o menos delgados que, con el tiempo vuelven a formar parte del dosel arbóreo. En otras distribuciones de este roble, como el Cerro La Campana y la Quebrada El Roble, esta situación se repite casi totalmente para las poblaciones (Casassa, 1986).

Los resultados discutidos anteriormente sugieren que la población de robles en su conjunto ha estado sometida a cortas reiteradas desde hace al menos 50 años y, que la especie tiene una alta resistencia a la perturbaciones de corta por su capacidad de rebrotar desde la base.

Todos los parches presentan, en algún grado, rastros de fuego, pero la intensidad de estos incendios debió ser baja puesto que no ha afectado la actividad de la base del tronco ni a la raíz de los árboles ya que han podido regenerar y actualmente siguen brotando. La quema en esta zona probablemente ha estado asociado a la actividad de carboneo, como se deduce del horno destruido encontrado en el interior de uno

de los parches de *Nothofagus*. Sin embargo, el efecto de esta actividad sobre la población actual no es evidente lo que sugiere que el desmonte no es actualmente realizado para la elaboración de carbón.

El **descortezado** es una perturbación que tiene una incidencia menor dentro de las señales cuantificadas, y no se tiene claridad sobre el uso humano que esta actividad pudiera tener. No obstante, dependiendo de la intensidad, podría causar la muerte de un vástago sin necesariamente matar al individuo.

El **ramoneo** y las **fecas de ganado** son variables que dan cuenta de la herbivoría ocurrida en una escala temporal corta, incluyendo la temporada de estudio. El **ramoneo** fue contabilizado cuando las hojas o los tallos más delgados de los individuos muestreados presentaban pérdida de las láminas foliares o cuando existía pérdida de los ejes y las hojas terminales. Por su parte las **fecas** muestran que dentro del bosque de roble se moviliza ganado vacuno, caballar y caprino.

Los **rebrotos chicos** también podrían considerarse como una señal de ramoneo pues, la alta densidad de ramas pequeñas que crecen en las zonas más bajas de los tocones, son una respuesta a esta acción de herbivoría.

Estos herbívoros identificados mediante las fecas deberían ser los responsables, al menos en parte, de que las plantas sean comidas. Actualmente son los individuos ya reclutados, es decir, los árboles que forman parte de la población, los que se ven afectados por el pastoreo. Sin embargo, esto implica que los reclutas que en algún momento pudieron haber aparecido también se podrían haber visto afectados negativamente por la ganadería, la que contribuiría a que no haya regeneración por reclutas en estos bosques. Esto es también lo que se observa con la estructura de áreas basales de los tocones de la población (Figura 11) que, al estar truncada en los valores inferiores, nos revela que este reclutamiento no ha existido. El pastoreo también podría afectar a los potenciales futuros reclutas.

En cuanto a los **tocones**, una situación interesante es la forma elipsoidal de la base de todos los individuos y la gran superficie que presentan más del 70% de la población ( $> 1 \text{ m}^2$ ). Estas características responden a dos situaciones. En primer lugar al tamaño que cada árbol tenía la primera vez que fue cortado, es decir, a mayor área basal del tocón, más edad del individuo. En segundo lugar, se debe a la reiterada corta de los ejes de cada árbol que incrementa su superficie debido a que los nuevos ejes se disponen en la periferia. Cada vez que surge un vástago nuevo, el tocón se ensancha.

Los resultados de la estructura de áreas basales de los tocones de los individuos de la población de robles, conjuntamente con la del diámetro de sus ejes mayores, sugieren que el proceso de perturbación humana, principalmente el desmonte, se ha realizado por un largo período de tiempo mayor a 50 años.

Como resultado de este gran tamaño y de la disposición periférica de sus rebrotos, numerosos tocones se han descompuesto en su parte central, y han generado en su centro un hábitat que permite el establecimiento de otros organismos tales como hongos, líquenes, y otras plantas. Según los datos, casi un tercio de los árboles medidos tienen distintas especies creciendo en ellos. Esta situación es una clara consecuencia de la modificación que se ha producido en la morfología de la planta por la perturbación humana.

Desde el punto de vista poblacional, el bosque actual de *Nothofagus macrocarpa* tiene una alta capacidad de resistir las perturbaciones tanto a nivel individual como poblacional, aun cuando no esté reclutando individuos nuevos hace bastante tiempo. Esta resistencia es principalmente al desmonte y al pastoreo, y en menor escala al fuego, por lo que no serían éstos los determinantes de la reducción del tamaño poblacional de los bosques ni de los tamaños de los fragmentos.

Todos los resultados desde la estructura del paisaje, como los poblacionales y las evidencias de perturbación en conjunto, sugieren que "la

*distribución y el tamaño de los parches puede estar más bien asociada a las condiciones históricas de cambio del clima que a las perturbaciones recientes y la falta de reclutamiento podría ser el efecto acumulado de los desmontes, la ganadería y principalmente del clima”.*

Existe en Chile Central otro bosque que también está altamente fragmentado. Este es el caso del Bosque de ruil en la VII región que se distribuye en nueve localidades a lo largo de 100 km de la Cordillera de la Costa (Bustamante y Grez, 1995; Bustamante y Castor, 1998) y que, al año 1991 estaba compuesto por 185 fragmentos que cubrían un total 352,2 ha. Estos fragmentos están inmersos en una matriz de pino (*Pinus radiata*) (Lara y Veblen, 1993), a diferencia de los bosque de roble de La Dormida, donde la matriz es vegetación natural propia de Chile central.

De las nueve localidades donde se encuentra el bosque de ruil, hay dos que, al igual que La Dormida, tienen 17 parches, pero son localidades mucho más chicas (4,8 ha una y 6,7 ha la otra). Las áreas de los 185 parches fluctúan entre 0,02 hectáreas y 52,9 hectáreas lo que significa que son mucho más grandes que los fragmentos de La Dormida. En ambos tipos de bosque los parches chicos representan la mayor parte de los fragmentos, llegando al 80% en el de ruil y al 70% en el de roble. Sin embargo los parches chicos en el primero tienen entre 1 y 2 ha y en La Dormida, no llegan a una hectárea. Por otro lado los parches grandes de los ruiles son también los más irregulares, en cambio en La Dormida, además de ser mucho más pequeños, son oval-redondo o rectangular-oblongo.

Además en los bosques de roble de La Dormida los parches están mucho más alejados de sus vecinos, siendo el promedio más del doble que el de los bosques de ruil. En el de ruil, el 50% de ellos está separado por hasta 20 metros y menos del 10% está a 100 m o más, en cambio en La Dormida, menos del 12% está a menos de 20 m de su parche más cercano y cerca del 30% de los fragmentos está a más de 100 m.

El mecanismo de fragmentación y/o pérdida de superficie sería distinta en ambos tipos de bosques. Se sabe que los bosques de ruil han sido fragmentados por la actividad humana, y en especial por la actividad forestal (Donoso y Landaeta, 1983). En la Dormida en cambio, no hay registros de actividad humana a gran escala, y la fragmentación sería más bien natural según las evidencias encontradas en este estudio. Aún así, y a pesar de las diferencias, la consecuencia ha sido la misma: ambos bosques están actualmente fragmentados y conformados por muchos parches pequeños, asemejándose a un archipiélago. Se sabe que la probabilidad de extinción de poblaciones en archipiélagos (como los bosques de ruil y los robles de La Dormida), es mayor que la de un solo parche de la misma área (Burkey, 1995). Además, actualmente en ambos bosques, las especies de la matriz están invadiendo los fragmentos remanentes.

Con los resultados obtenidos del análisis del paisaje de la Cuesta La Dormida más las evidencias obtenidas desde el nivel poblacional, las que apoyan los resultados del nivel paisajístico en cuanto a que los parches aparentemente no son viables en el largo plazo y que son vulnerables a una extinción, se tiene una visión clara de la situación actual del paisaje. Pero, también en base a esta información, es posible proyectar la situación de éste hacia el pasado y hacia el futuro. En la Figura 12 se propone un modelo conceptual del proceso de fragmentación y reducción de superficie boscosa basado en los resultados y en los antecedentes históricos y actuales de cambios climáticos y de perturbación antrópica.

Hacia el pasado, se puede hacer una interpretación a dos escalas temporales distintas. Primero, a una escala geológica que incluya el último período de glaciación (18.000 A.P.) (Turner *et al*, 2001) y, segundo, hacia una escala más reciente como la época posterior a la colonización española.

Para la primera escala temporal, existirían antecedentes paleobotánicos suficientes como para suponer que durante la última glaciación los *Nothofagus* habrían formado bosques

continuos al norte de los 35° LS en los sectores montañosos (Simpson, 1979; Heusser, 1984) y que su distribución latitudinal habría variado considerablemente después de eso. Los efectos que habría tenido esta glaciación serían darle condiciones más mésicas y húmedas a Chile central (Hays *et al.*, 1976), condiciones favorables para los *Nothofagus*.

En el caso de los robles de la Dormida, probablemente éstos habrían estado formando bosques continuos en todo el cerro y comunicados con las poblaciones de los cerros El Roble y La Campana. Seguramente también habrían podido ocupar zonas de menor altitud que las que pueden ocupar actualmente. En ausencia de perturbación humana durante ese período, la morfología de los árboles también debe haber sido muy diferente. Seguramente los individuos tenían uno o pocos fustes alcanzando todos grandes tamaños. La reproducción de los árboles debe haber sido enteramente sexual y la capacidad de crecimiento vegetativo, o no existía, o sólo se expresaba en los casos en que algún árbol fuese derribado por algún fenómeno natural como, por ejemplo, el viento.

A partir del Holoceno (10 mil años atrás) el clima se habría tornado más árido generando un área "abierta" para la colonización de otras especies. El bosque esclerófilo habría empezado a expandirse ocupando parte de esta área, principalmente entre los 33° y 35° LS (Raven, 1973). Desde ese momento debe haber comenzado la pérdida de superficie boscosa y la mayor parte de las especies de *Nothofagus* se habrían "retirado" hacia el sur dejando el antiguo bosque continuo en fragmentos. Las especies que permanecieron, como *Nothofagus macrocarpa*, se habrían podido mantener sólo en lugares donde se conservaran condiciones microclimáticas adecuadas para su permanencia (Rundel, 1981). Aún así, estas especies que se quedaron habrían tenido que soportar condiciones estresantes que se traducirían en un cambio gradual en su forma de reproducción. Así debe haber aparecido el crecimiento vegetativo como mecanismo o, si los árboles ya tenían esta capacidad, en este tiempo adquiriría mucho más relevancia.

Miles de años después, luego de la llegada de los españoles a Chile (a mediados del siglo XVI), se habría sumado al efecto del gradual cambio climático el comienzo de una utilización de los bosques que previamente no se practicaba. En los tiempos coloniales (desde finales del s. XVI hasta el s. XVIII) los bosques de *Nothofagus* más próximos a Santiago fueron explotados comenzando la producción de carbón, leña y el uso del fuego para utilizar los suelos en actividades agrícolas y ganaderas, lo que produjo la degradación de la vegetación (Donoso, 1972). Sin embargo, en todos estos sitios el modo de perturbación ha sido artesanal y no industrial (Aschmann y Bahre, 1977; Casassa, 1986) lo que permitió que el efecto de las perturbaciones no arrasara con las poblaciones remanentes.

En el caso de los robles de la Dormida los individuos aislados encontrados en la matriz son evidencia de que en algún momento ellos formaban parte de algún parche vecino o de algún parche que ahora no existe. Las actividades de explotación pudieron haber contribuido a esto sí, como resultado de ellas, los árboles fueron dañados irrecuperablemente en sus bases y/o en la raíz. Si suponemos que las perturbaciones se centraron con mayor fuerza en los bordes, esta contribución podría haber significado una aceleración del proceso de pérdida de superficie de los parches aumentando las distancias entre fragmentos. Sin embargo, por la gran capacidad de rebrotar observada en los individuos de la población y por su capacidad de responder a las perturbaciones, resulta difícil pensar que el ser humano es el causante directo de este paisaje. Más bien se estima que la explotación ocurrida desde la colonia hasta la actualidad, ha contribuido principalmente a cambiar la morfología de los árboles y que, los tamaños de los parches habrían sido poco modificados en los últimos 300 años por causas antrópicas.

En cuanto a la proyección hacia el futuro, la existencia de individuos muertos en los bordes de algunos parches y los resultados de las correlaciones entre altitud de los parches y distancia al parche más cercano, podrían estar

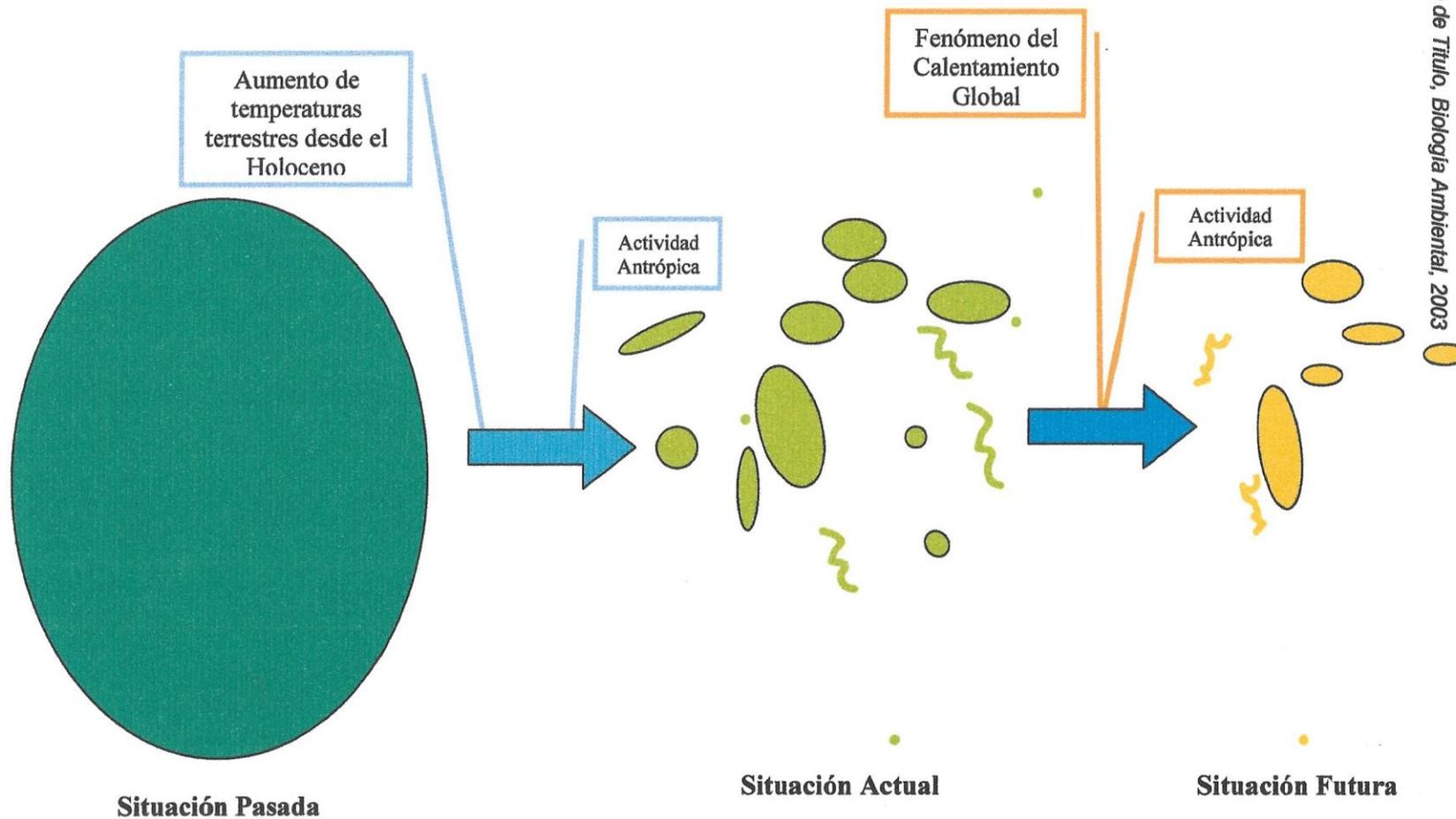


Figura 12. Proceso de fragmentación y reducción de superficie boscosa en Cuesta La Dormida

indicando que el proceso de pérdida de superficie de los parches estaría ocurriendo desde las zonas bajas (condiciones climáticas más desfavorables) hacia las alturas donde el clima se mantiene menos negativo. Esto indicaría un estado de retroceso de los mismos. La mortalidad que se observó en los bordes no fue ocasionada por las perturbaciones puesto que los árboles están completamente secos, y más bien serían el resultado del estrés hídrico y térmico que posiblemente afecta a la población y principalmente a los individuos de los bordes.

Por otro lado, aunque no se conocen los requerimientos ecológicos de *Nothofagus macrocarpa*, se sabe que *Nothofagus obliqua*, la especie más similar a *N. macrocarpa*, crece bien en zonas donde las precipitaciones medias sobrepasan los 1.500 mm anuales ([www.gaf.cl/especies\\_forestales.htm](http://www.gaf.cl/especies_forestales.htm)) y que normalmente requiere de precipitaciones medias anuales superiores a 600 mm (Ríos, 1999). Según los datos climatológicos que se tienen para la zona de estudio, las precipitaciones medias anuales de ese lugar apenas sobrepasan este requerimiento mínimo (Santibáñez y Uribe, 1991). Además del estrés provocado por las condiciones ambientales, y de los efectos negativos que podrían estar teniendo las perturbaciones antrópicas consideradas en este trabajo, podrían surgir presiones nuevas sumándose sus efectos a los de los anteriores.

De persistir las perturbaciones consideradas en este estudio como hasta ahora, probablemente los robles sean capaces de sobrevivir todavía muchos años. Si la intensidad del desmonte y la ganadería se reducen, probablemente decrezca la velocidad con la cual los parches disminuyen su tamaño, es decir, se conservaría la dirección del cambio pero declinaría la velocidad de éste. Si en cambio estas perturbaciones se intensifican, seguramente la capacidad de soportar esta situación baje y los parches comiencen a reducirse, aumentando la mortalidad de individuos en los bordes de los parches.

Una de las nuevas perturbaciones es el ensanche de la ruta que une a Til-til con Olmué, el consiguiente aumento del flujo vehicular, y

por lo tanto la mayor accesibilidad de esta zona. Estos hechos acrecientan la probabilidad de que los bosques sean afectados, por ejemplo, por fuegos accidentales de verano.

Todas estas razones, nos están señalando que, es probable que en un futuro no muy lejano los parches de la Cuesta La Dormida reduzcan aún más sus tamaños.

Hay que tener claro que las predicciones que se hacen en este trabajo son sobre el destino de los parches de *Nothofagus macrocarpa* y que se basan en los resultados obtenidos y en las observaciones hechas. Sin embargo, a partir de estos resultados surgen nuevas preguntas, tanto en el nivel de paisaje como en el poblacional, que quedan propuestas para futuras investigaciones. En relación al paisaje, sería de interés estudiar qué tipo de flujos ocurren dentro del sistema estudiado. Es decir, determinar si existen flujos de energía y materiales, y qué importancia tienen los flujos de especies (organismos) entre parches vecinos, entre un parche y la matriz, desde un parche hacia otros sistemas (por ejemplo los ríos de las quebradas) o, si los flujos son cerrados.

En el nivel poblacional, aparecen preguntas como cuál es el grado de parentesco entre los individuos de los diferentes parches, cuál es la estructura de edades dentro de cada uno de ellos, cuál es la tasa de crecimiento de los árboles, cómo es la producción y dispersión de semillas, la emergencia y el establecimiento de individuos nuevos, etc. En resumen, sería interesante caracterizar cada uno de los 17 parches en función de las propiedades de los individuos que los componen. También sería interesante tener datos sobre la invasibilidad que se observa que tiene la matriz hacia el interior de los parches como una medida de la presión que ésta ejerce sobre los bordes y que aumenta el riesgo de reducción de tamaño de éstos.

Sería adecuado establecer cómo la estructura actual del paisaje determina la ocurrencia o no, de ciertos procesos poblacionales o individuales como, por ejemplo, el transporte de polen (anemofilia) y la dispersión de semillas (anemocoría) entre los parches o hacia la matriz.

Es difícil pensar en acciones que pudieran revertir la reducción de los tamaños de los parches de esta especie en la Cuesta La Dormida puesto que la causa es principalmente de origen natural. El ser humano podría tener una responsabilidad indirecta al ser el responsable de lo que se conoce como "calentamiento global", pero medidas contra esto están fuera de nuestro alcance.

Los cuidados que se pudieran tomar serían, más bien, para reducir los riesgos de una extinción repentina. Habría que resguardar estos parches de ser cortados y pastoreados, y disminuir los riesgos de que ocurra algún incendio forestal grave que afecte la base de los árboles impidiendo su capacidad de rebrote. Los parches que serían más importantes de proteger serían aquellos que conforman el núcleo del sistema y que aparecen en los últimos lugares del ranking. En general, estos son parches de gran tamaño y algunos más pequeños asociados a ellos. Pero también sería importante proteger al parche que ocupa el primer lugar del ranking (el n° 17) por las características morfológicas únicas que tienen sus árboles.

Aún cuando este trabajo ha generado nueva información sobre esta especie en esta zona, se debería profundizar aún más en ella. Además de las investigaciones futuras propuestas anteriormente, el ranking también se podría ampliar y mejorar incluyendo otras características como, por ejemplo, la morfología de los árboles, la distancia a caminos y/o a centros poblados, etc. Además sería bueno estudiar si el orden de vulnerabilidad de los parches entregado por el ranking, que considera características del paisaje, se relaciona también con características poblacionales.

Sería interesante corroborar si el patrón de fragmentación que se observa en La Dormida es efectivamente generalizable a las otras distribuciones del límite norte de esta especie. En ese sentido hay que considerar que La Dormida es el cerro de menor altitud de los cuatro "megaparches" definidos y, por lo tanto, las características descritas para esta cuesta, probablemente se repitan en las zonas de menor altitud de los otros cerros.

También sería recomendable la realización de estudios para conocer mejor los requerimientos ecológicos de esta especie.

Sólo con un conocimiento cabal de la especie se podría saber si hay medidas de conservación efectivas que se pudieran establecer para evitar o retardar la desaparición del Roble de Santiago de la Cuesta La Dormida.

## Bibliografía

- Andrewartha, H.G. (1961) Introduction to the study of Animal Populations. University of Chicago Press, Chicago, Illinois. 281 pp.
- Arcadis Geotecnica (2000) D.I.A. Mejoramiento ruta G-10-F, Cuesta La Dormida.
- Armesto J., Villagrán C., Donoso C. (1994) Desde la era glacial a la industrial: La historia del bosque templado chileno. *Ambiente y Desarrollo* 10 (1): 66-72.
- Aschmann H. & C. Bahre (1977) Man's impact on the wild landscape. En: H.A. Mooney (ed.) *Convergent Evolution in Chile and California. US/IBP Synthesis series n°5*, Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Pennsylvania: 73 - 84
- Balduzzi, A; Tomaselli, R.; Serey, I.; Villaseñor, R. (1982) Degradation of the Mediterranean type of Vegetation in Central Chile. *Ecología Mediterránea - T - VIII.*: 93-112
- Benoit, I. (1989) Libro rojo de la flora terrestre de Chile: Simposio Flora Nativa Arbórea y Arbustiva de Chile Amenazada de Extinción (1985: Stgo.). Editores CONAF; 157 pp.
- Bustamante R. & Castor C. (1998) The decline of an endangered temperate ecosystem: the ruil (*Nothofagus alessandrii*) forest in central Chile. *Biodiversity and Conservation* 7, 1607-1626
- Bustamante R. y Grez A. (1995) Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ambiente y Desarrollo* XI (2) 58-63
- Bustamante R.O., Serey I.A., Pickett S.T.A. (2003) Forest Fragmentation, Plant Regeneration and Invasion Processes Across

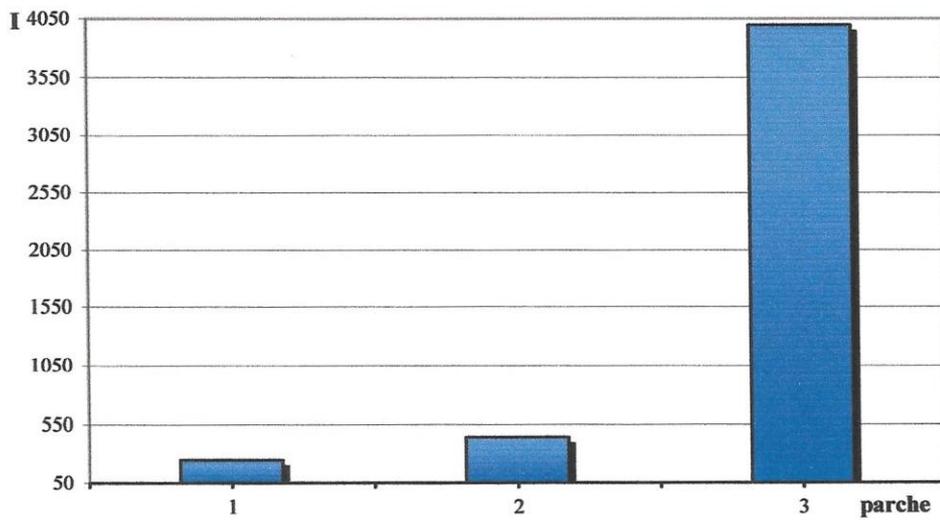
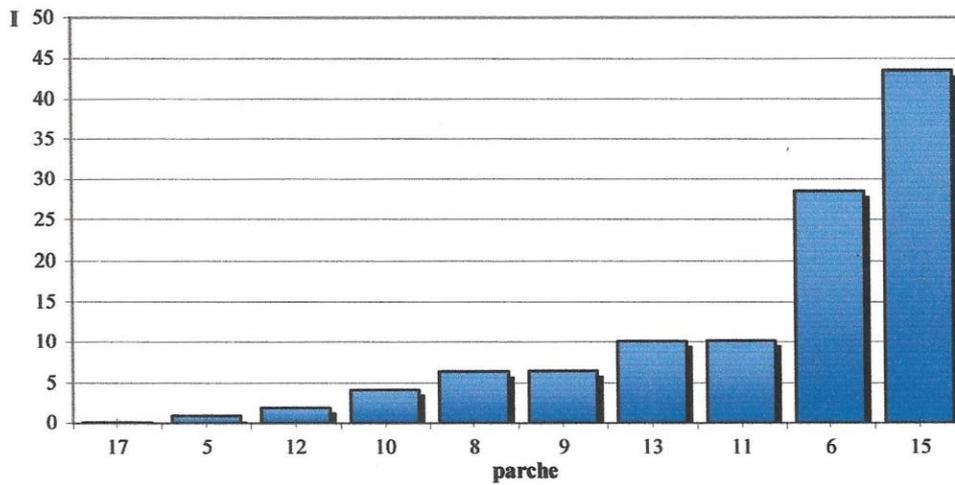
- Edges in Central Chile. *Ecological Studies*, Vol. 162: pp. 145-160
- Burkey T.V. (1995) Extinction rates in archipelagoes: implications for populations in fragmented habitats. *Biological Conservation* 9:527-541.
- Casassa, I. (1986) Estudio demográfico y florístico de los bosques de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. en Chile Central. *Tesis de Magíster en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias. U. de Chile.* pp 130
- Di Castri, F. & E. Hajek (1976) Bioclimatología de Chile. Imprenta Editorial de la Universidad Católica de Chile, Santiago. 113 pp.
- Donoso, C. (1972) Análisis taxonómico y de distribución de las especies caducifolias del género *Nothofagus* en la zona central de Chile. *Tesis de Ingeniería Forestal. Universidad de Chile.* 190 pp.
- Donoso, C. (1979) Variación y tipos de diferenciación en poblaciones de Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.). *Bosque* 3: 1-14.
- Donoso C. y Landaeta E. (1983) Ruil (*Nothofagus alessandrii*) a threatened Chilean tree species. *Environmental Conservation* 10: 159-162.
- Donoso C., Lara A. (1999) Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. 421 pp.
- Forman, R.T.T. (1997) Land Mosaics.: the ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press. 632 pp.
- Forman, R.T.T. & Godron M. (1986) Landscape Ecology. John Wiley and Sons. 619 pp.
- Gajardo, R. (1983) Sistema Básico de clasificación de la vegetación nativa chilena. Ministerio de Agricultura. Corporación Nacional Forestal / Universidad de Chile, Facultad de Ciencias. Agrarias y Forestales. 314 pp.
- Gajardo, R. (1994) La Vegetación Natural de Chile; Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 165 pp., 166 lám - *Colección Imagen de Chile*
- Gilpin, M.E. (1987) Spatial structure and population vulnerability. *En: M.E. Soulé (ed) Viable Populations for Conservation Cambridge University Press; Cambridge:* 125 - 139
- Goodman, D. (1987) Consideration of stochastic demography in the design and management of biological reserves. *Natural Resource Modeling* 1:205 - 234.
- Golowasch, J., M. Kalin, C. Villagrán & J. Armesto (1982) Características demográficas de una población de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Blume var. *macrocarpa* dc. en el Cerro El Roble (33° lat. S) en Chile. *Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. Chile*, 39: 37-44.
- Gonzalorena, L. (2001) Medidas para el control de erosión en la ruta G-10-F, Cuesta La Dormida: Informe de Práctica Profesional (*sin publicar*) 12 pp.
- Grez A., Simonetti J., Bustamante R., Fahrig L. (1997) Landscape ecology, Deforestation, and Forest Fragmentation: The case of the ruil forest in Chile. *En: Landscape Ecology as a tool for sustainable development in Latin America E. Salinas - Chávez and J. Middleton (Eds.)* <http://www.brocku.ca/epi/lebk/grez.html>
- Hays J.D., J.A. Lozano, N. Shackleton y G. Irving (1976) Reconstruction of the Atlantic and Western Indian Ocean Sectors of the 18,000 B.P. Antarctic Ocean. *En Geological Society of America Memoir* (145), 337-371.
- Heusser, C.J, 1984. Late Quaternary climates of Chile. *En: Late Cainozoic Climates of the Southern Hemisphere (JC Vogel, ed.):* 59 - 83
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, INIA (1989) Mapa Agroclimático de Chile. *En Ríos, (1999) Análisis de algunos factores ambientales que inciden en la distribución geográfica de Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. y *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl) Oerst.
- Janzen D.H. (1983) No park is an island: increase in interference from outside as park size decreases. *Oikos* 41: 402-410
- Lara A. y Veblen T (1993) Forest plantation in Chile: a successful model? *En: Mather A (ed) Afforestation: policies, planning and progress. Bellhaven Press, London:* 119-138.
- Laurance W.F. (1997) Hyper-disturbed parks: edge effects and the ecology of isolated rainforest reserves in tropical Australia. *En: Laurance & Bierregard Jr. (eds.) Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities.:*

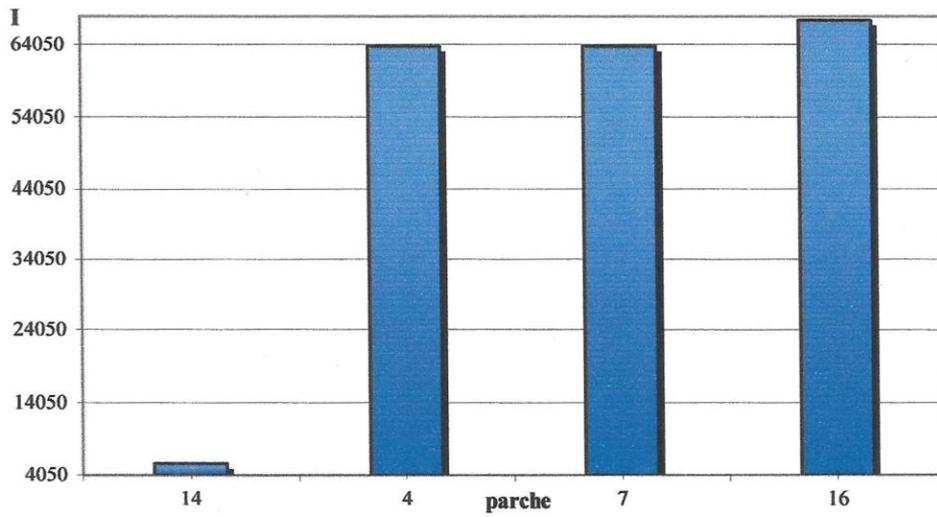
- University of Chicago Press, Chicago: 71 - 84.
- Miller, P.C. y E. Hajek (1981) Resource availability and environmental characteristics of mediterranean type ecosystems. Chapter 2. *En: Miller P.C. (ed.) Resource use by chaparral and matorral (a comparison of vegetation function in two mediterranean type ecosystems)*. Springer, New York: 17 - 41.
- Muñoz, C. (1969) Anexo 1.5 *En: Muñoz, M.; Núñez, H.; Yáñez, J. (1996) Libro rojo de los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad biológica en Chile*.
- Muñoz, M.; Núñez, H.; Yáñez, J. (1996) Libro rojo de los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad biológica en Chile. Editores Ministerio de Agricultura y CONAF. 203 pp.
- Ormazábal, y Benoit, I. (1987) El Estado de Conservación del Género *Nothofagus* en Chile. *Bosque* 8:104 - 120
- Raven P.H. (1973) The evolution of Mediterranean floras. *En di Castri, F. and Mooney, H.A. (eds), Mediterranean-type ecosystems. Origin and structure. Ecological Studies 7. Springer-Verlag, New York.* 213 - 224
- Ravenna, P. (2002) *Nothofagus macrocarpa* y *Nothofagus rutila* (Fagaceae), two distinct species. *Onira* 7 (11): 57 - 60.
- Ríos, P. (1999) Análisis de algunos factores ambientales que inciden en la distribución geográfica de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. y *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl) Oerst. *Tesis de Ingeniería Forestal*. U. de Chile. 103 pp.
- Rundel P.W. (1981) The matorral zone of central Chile. *En: F. Di Castri, D.W. Goodall t R.L. Specht (eds.) Ecosystem of the World 11. Mediterranean-type shrublands. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York.* 175 - 201
- Santibáñez F. y Uribe J.M. (1991) Atlas Agroclimatológico de Chile: Regiones V y Metropolitana. Laboratorio de Agroclimatología, Depto. de Ingeniería y Suelos, Fac. Cs. Agronómicas. U. de Chile. Santiago, Chile. 61 pp.
- Simpson B.B. (1979) Quaternary biogeography of the High Montane Regions of South America. In the herpetofauna, its origin, evolution and dispersal. (Duellman, W.E. Ed.) *Monogr. Mus. Nat. History. Univ. of Kansa, N° 7.*
- Tonkonogy, B. (2002) Ecosystem and Landscape Ecology. 11 pp. (*Manuscrito*)
- Turner M.; Gardner R., O'Neill R. (2001) *Landscape Ecology in theory and practice.* 404 pp. Springer-Verlag, New York.
- Vázquez, F.M. y Rodríguez, R.A. (1999) A new subspecies and two new combinations of *Nothofagus* Blume (Nothofagaceae) from Chile. *Botanical Journal of the Linnean Society* (London), 129: 75 - 83.
- Viana V.M., Tabanez A.A.J., Batista J.L. (1997) Dynamics and restoration of Forest Fragments in Brazilian Atlantic Moist Forest. *En: Laurance WF, Bierregaard RO Jr (eds.) Tropical Forest Remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities. University of Chicago Press, Chicago:* 351 - 365
- Villagrán, C. & Le Quesne, C. (1996) El interés Biogeográfico-histórico de Chile Central-sur: ¿Porqué debemos conservar su biota?. *En Muñoz, M.; Núñez, H.; Yáñez, J. 1996. Libro rojo de los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad biológica en Chile.* pp. 160 - 172
- Villaseñor, C., R. & I. Serey E. (1980) Estudio fitosociológico de la vegetación del Cerro La Campana (Parque Nacional La Campana) en Chile Central. *Atti. Inst. Bot. Critt. Univ. Pavia* s.6. XIV: 69 - 91
- White, P.S. & S.T.A. Pickett. (1985) Natural Disturbance and Patch Dynamics: An Introduction. *En: Pickett, S.T.A. y P.S. White (eds). The ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Chap. 1: 3 - 13. Academic Press. New York.*

# Anexos

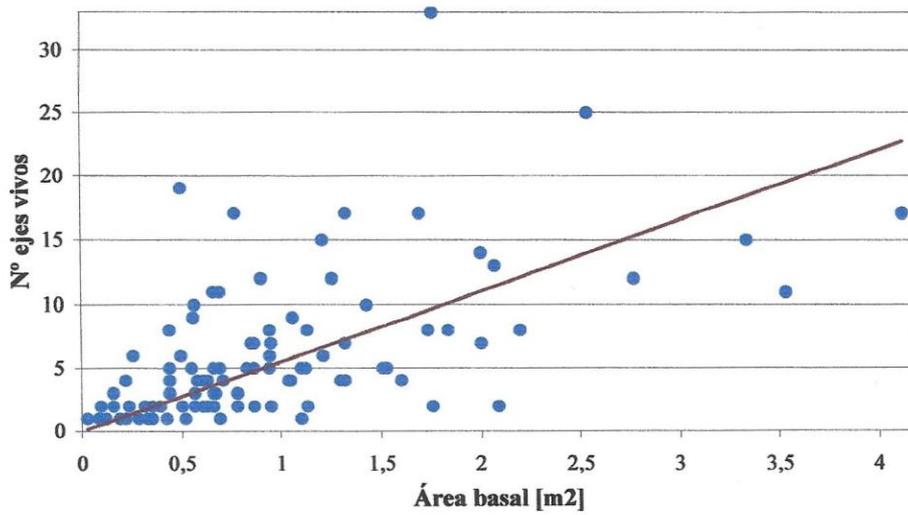
## I. Gráficos

Gráficos 1, 2 y 3. Grado de Interacción entre parches





**Gráfico 4. Relación entre Área del Tocón y Número de Vástagos Vivos**



### III. Tablas

**Tabla 1 y 2. Información sobre los puntos tomados en terreno**

Parche n°	X mínimo	X máximo	Y mínimo	Y máximo	Error Promedio	Altitud mínima	Altitud máxima
1	312953	313208	6341315	6341494	9,2	1 356	1 455
2	313132	313294	6341256	6341381	8,8	1 369	1 420
3	313240	313629	6341010	6341296	9,9	1 402	1 280
4	313550	313577	6341035	6341061	6	1 302	1 315
5	313839	313858	6341377	6341409	10	1 241	1 268
6	312992	313186	6341077	6341228	8,9	1 334	1 418
7	313359	313445	6340927	6341065	11,3	1 233	1 337
8	313433	313566	6340732	6340891	9,3	1 181	1 262
9	312274	312438	6341088	6341223	11,1	1 194	1 270
10	313192	313287	6340522	6340636	9,6	1 187	1 276
11	312978	313030	6340410	6340561	11	1 186	1 217
12	313113	313197	6340348	6340411	9,1	1 162	1 198
13	312644	312730	6340829	6340945	8,8	1 265	1 335
14	312757	313117	6340646	6341084	11,4	1 223	1 415
15	312812	312828	6340858	6340882	9	1 303	1 309
16	312829	312912	6340653	6340830	12,1	1 200	1 246
17	313357	313373	6339730	6339752	12,2	1 085	1 089
<b>Total</b>	<b>312274</b>	<b>313858</b>	<b>6339730</b>	<b>6341494</b>	<b>9,9</b>	<b>1 085</b>	<b>1 455</b>

Camino	X mínimo	X máximo	Y mínimo	Y máximo	Error promedio	Altitud mínima	Altitud máxima
Antena	312812	313206	6341077	6341529	9,5	1 340	1 408
Caleu Poniente	312344	312812	6340085	6341153	9,4	1 263	1 340
Caleu Oriente	313564	314053	6339964	6341542	12,5	1122	1280
G-10-F	312372	313524	6339685	6340619	9,9	1 075	1 263

**Tabla 3. Resultado del análisis de los parches**

<b>Parche n°</b>	<b>Perímetro [m]</b>	<b>Superficie</b>
1	850	1,85 ha
2	490	1,10 ha
3	1 287	6,38 ha
4	83,73	336 m <sup>2</sup>
5	81,08	256 m <sup>2</sup>
6	710	1,60 ha
7	408	3 649 m <sup>2</sup>
8	527	5 403 m <sup>2</sup>
9	515	8 240 m <sup>2</sup>
10	367	7 905 m <sup>2</sup>
11	365	1 673 m <sup>2</sup>
12	231	2 870 m <sup>2</sup>
13	404	5 026 m <sup>2</sup>
14	1 647	6,75 ha
15	62,38	88,02 m <sup>2</sup>
16	422	5 576 m <sup>2</sup>
17	62,57	220 m <sup>2</sup>
<b>Suma</b>	<b>8 512,76</b>	<b>21,8 ha</b>

**Tabla 4. Resultado de los índices calculados**

<b>Parche n°</b>	<b>Índice Perimetral [IP]</b>	<b>Índice de Diversidad de Patton [D<sub>i</sub>]</b>	<b>Índice de Aislamiento de un Parche (r<sub>i</sub>)</b>	<b>Índice de Interacción entre Parches (I<sub>i</sub>)</b>
1	0,0459	1,7629	499,88	250,675
2	0,0445	1,3179	679,97	444,481
3	0,0202	1,4374	395,66	3995,808
4	0,2492	1,2886	402,25	63801,440
5	0,3167	1,4295	857,45	0,816
6	0,0444	1,5834	448,13	28,518
7	0,1118	1,9053	582,90	63804,141
8	0,0975	2,0225	511,54	6,401
9	0,0625	1,6004	892,35	6,486
10	0,0464	1,1644	485,13	4,162
11	0,2182	2,5173	520,39	10,174
12	0,0805	1,2164	509,06	1,837
13	0,0804	1,6076	482,68	10,088
14	0,0244	1,7883	408,22	5582,027
15	0,7087	1,8756	241,53	43,530
16	0,0757	1,5942	251,10	67501,753
17	0,2844	1,1900	1232,72	0,042

**Tabla 5. Atributos de los parches, Índices calculados y resultado de las correlaciones estadísticamente significativas ( $\alpha = 0,05$ )**

<b>Parche</b>	<b>Altitud Promedio</b>	<b>Índice Aislamiento</b>	<b>Índice Interacción</b>	<b>Dist. Parche más Cercano</b>	<b>Altitud Mínima</b>	<b>Altitud Máxima</b>
1	1408	499,88	250,675	6,69	1356	1455
2	1399	679,97	444,481	6,69	1369	1420
3	1345	395,66	8,808	50,62	1402	1280
4	1308	402,25	0,440	116	1302	1315
5	1259	857,45	0,816	303,84	1241	1268
6	1380	448,13	28,518	53,51	1334	1418
7	1282	582,90	3,141	52,5	1233	1337
8	1225	511,54	6,401	52,5	1181	1262
9	1232	892,35	6,486	56,48	1194	1270
10	1217	485,13	4,162	117,17	1187	1276
11	1205	520,39	10,174	85,78	1186	1217
12	1180	509,06	1,837	117,17	1162	1198
13	1294	482,68	10,088	82,69	1265	1335
14	1314	408,22	5,027	42,42	1223	1415
15	1305	241,53	43,530	32,49	1303	1309
16	1221	251,10	0,753	32,49	1200	1246
17	1087	1232,72	0,042	645,36	1085	1089
<b>promedio</b>	<b>1274</b>			<b>109</b>		

**Comparación**

Altitud Promedio v/s Índice de Aislamiento  
 Altitud Promedio v/s Índice de Interacción  
 Altitud Promedio v/s Distancia al Parche más Cercano  
 Altitud Mínima v/s Distancia al Parche más Cercano  
 Altitud Máxima v/s Distancia al Parche más Cercano  
 Distancia al Parche más Cercano v/s Índice de Aislamiento

**Coefficiente de Correlación (r)**

-0.463  
 0.582  
 -0.658  
 -0.559  
 -0.680  
 0.776

**Tabla 6. Ranking de vulnerabilidad de parches en el paisaje**

<b>Parche</b>	<b>Área</b>	<b>IP</b>	<b>forma</b>	<b>aislamiento</b>	<b>interacción</b>	<b>altitud</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>29</b>
<b>2</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>68</b>
<b>12</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>64</b>
<b>13</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>48</b>
<b>14</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>21</b>
<b>15</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>54</b>
<b>16</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>35</b>
<b>17</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>83</b>

