



UNIVERSIDAD DE CORDOBA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Agronómica y de Montes
Tesis Doctoral

**ASPECTOS SILVICULTURALES Y ESTRATEGIAS DE GESTION
SOSTENIBLES EN BOSQUES DE SEGUNDO CRECIMIENTO DE
Drimys winteri J. R. FORST. & G. FORST. (CANELO) EN CHILE.**

**Doctorando:
Celso Omar Navarro Cárcamo**

Córdoba, España, Abril 2012

TÍTULO: *Aspectos silviculturales y estrategias de gestión sostenibles en bosques de segundo crecimiento de *Drimys winteri* J. R. FORST. & G. FORST. (Canelo) en Chile*

AUTOR: *Celso Omar Navarro Cárcamo*

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2012
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es



TÍTULO DE LA TESIS: *Aspectos Silviculturales y Estrategias de Gestión Sostenibles en Bosques de Segundo Crecimiento de *Drimys winteri* J. R. Forst. & G. Forst. (Canelo) en Chile*

DOCTORANDO/A: *Celso Omar NAVARRO CÁRCAMO*

INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

Esta tesis, se lleva a cabo en un programa de doctorado, específicamente diseñado para académicos de universidades iberoamericanas. En el caso de este trabajo el autor del mismo llevaba un considerable tiempo realizando estudios silviculturales en la especie forestal *Drimys winteri* J. R. Forst. & G. Forst. (Canelo). En este trabajo se contribuye a fortalecer la gestión de productores de madera de canelo y gestores de los recursos forestales en la toma de decisiones estratégicas. Para lo anterior en esta tesis se ha desarrollado un análisis silvícola-económico. Se han realizado cuatro unidades de estudio diferentes. La primera de ellas, define las unidades potenciales de gestión silvícola. En el segundo apartado, se realiza una propuesta de tecnologías silvícolas para la producción de madera de alta calidad. El tercer estudio realiza la evaluación de la rentabilidad del manejo. El cuarto estudio desarrolla un diagrama de manejo de la densidad para los bosques de *D. winteri*.

La metodología de trabajo y la programación de actividades desarrolladas en esta tesis se han adecuado a lo originalmente programado y se ha realizado una importante contribución al conocimiento de esta especie estratégica para Chile. Se debe destacar además, que de este trabajo se han originado diversos trabajos científicos que se han difundido en revistas especializadas y en congresos internacionales.

Por todo lo anteriormente citado y dada la calidad del trabajo desarrollado, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 3 de mayo de 2012

Firma del/de los director/es

Fdo. Miguel Ángel Herrera Machuca

Fdo.: ...Fernando Drake Aranda.

UNIVERSIDAD DE CORDOBA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Agronómica y de Montes

TESIS DOCTORAL

**ASPECTOS SILVICULTURALES Y ESTRATEGIAS DE GESTION
SOSTENIBLES EN BOSQUES DE SEGUNDO CRECIMIENTO DE
Drimys winteri J. R. FORST. & G. FORST. (CANELO) EN CHILE.**

CELSO OMAR NAVARRO CARCAMO

Abril/2012
Córdoba- España

UNIVERSIDAD DE CORDOBA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Agronómica y de Montes

TESIS DOCTORAL

**ASPECTOS SILVICULTURALES Y ESTRATEGIAS DE GESTION SOSTENIBLES
EN BOSQUES DE SEGUNDO CRECIMIENTO DE *Drimys winteri* J. R. FORST. &
G. FORST. (CANELO) EN CHILE.**

Tesis Doctoral presentada por Celso Navarro Cárcamo, para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba, bajo la dirección del Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca profesor del Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba.

El Doctorando:

Celso Omar Navarro Cárcamo

El Director de la Tesis:

Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca

Co- Director de la Tesis:

Dr. Fernando Drake Aranda

Córdoba, 2012

MIGUEL ÁNGEL HERRERA MACHUCA, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba, de acuerdo al artículo 34 de las Normas Regulatoras de Doctorado de esta Universidad, junto al Codirector, Dr. Fernando Drake Aranda.

AUTORIZAN a Don Celso Navarro Cárcamo, Ingeniero Forestal, para la presentación del trabajo que con el título **ASPECTOS SILVICULTURALES Y ESTRATEGIAS DE GESTION SOSTENIBLES EN BOSQUES DE SEGUNDO CRECIMIENTO DE *Drimys winteri* J. R. FORST. & G. FORST. (CANELO) EN CHILE**, ha sido realizado bajo mi dirección como Tesis para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Córdoba, España, Abril 2012



Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca



Dr. Fernando Drake Aranda

Parte de los resultados de esta tesis, han sido presentados y publicados en los siguientes eventos y revistas científicas:

Navarro, C., Donoso, C., Sandoval, V. 1999. Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Capítulo 11. Los Renovales de Canelo. Claudio Donoso y Antonio Lara. Editorial Universitaria. 341-379 p.

*Navarro, C., Herrera, M., Drake, F., Donoso, P. 2011. Desarrollo de un diagrama de manejo de la densidad en renovales de *Drymis winteri* en el sur de Chile. Revista Bosque 32(2): 175-186.*

*Navarro, C., Herrera, M., Drake, F., Donoso, P. 2010. Estudio de rentabilidad del manejo de bosques de segundo crecimiento de *Drymis winteri* en la Cordillera de la Costa de Valdivia-Chile. Revista Bosque 31(3):209-218.*

*Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires Argentina. Desarrollo de un Diagrama de Manejo de la densidad para bosques de segundo crecimiento de *Drymis winteri*. (Argentina, 2009).*

A G R A D E C I M I E N T O S

Agradezco a mis profesores directores, señores Miguel Ángel Herrera Machuca y Fernando Rómulo Drake Aranda, por la oportunidad, aportes y consejos para el desarrollo de la presente tesis doctoral.

A la Universidad Católica De Temuco y Universidad de Córdoba por las facilidades otorgadas, su apoyo para el desarrollo y finalización de mi proceso doctoral.

A mis amigos Emilio Guerra y Julio Pinares por el apoyo incondicional y siempre presente en mi desempeño académico, en especial en el desarrollo de esta tesis doctoral. A mis colegas y colaboradores permanentes de la Universidad Católica de Temuco Claudia Pinilla, María José Sanhueza, Carlos Esse y Fabián Celis por sus revisiones, apoyo en las mediciones de campo y comentarios al documento.

A Claudio Donoso Z. un especial agradecimiento y reconocimiento por su aporte personal y profesional, y la posibilidad otorgada de iniciar mis trabajos en los bosques de canelo. A mi amigo y colega Pablo Donoso por el apoyo personal y facilidades para utilizar los ensayos silviculturales de la Universidad Austral de Chile.

Mi agradecimiento y amor a mi esposa Jeanette y mis hijas Natalia, Daniela y María José, a quienes les agradezco su paciencia, comprensión y permanente apoyo en mi desempeño personal y profesional.

A mis padres Alberto y Lucila, mis hermanos Luis, Elizabeth, José Miguel y Fabiola, por estar siempre presentes.

INDICE GENERAL

1	Capítulo 1. Introducción General	- 19 -
1.1	Marco general	- 19 -
1.2	Antecedentes generales de la especie	- 20 -
1.2.1	<i>Distribución de D. winteri en Chile</i>	- 21 -
1.2.2	<i>Autoecología de la especie</i>	- 23 -
1.2.3	<i>Fuente de semillas</i>	- 24 -
1.2.4	<i>Cama de semillas</i>	- 26 -
1.2.5	<i>Medio ambiente para la germinación y establecimiento</i>	- 27 -
1.2.6	<i>Regeneración</i>	- 28 -
1.2.7	<i>Calidad, plagas y enfermedades que afectan a D. winteri</i>	- 29 -
1.2.8	<i>Aptitudes maderables y no maderables</i>	- 30 -
1.2.9	<i>La madera y la industria</i>	- 31 -
1.3	Los renovales de <i>D. winteri</i>	- 34 -
1.3.1	<i>Estructura, densidad y distribución diamétrica</i>	- 37 -
1.3.2	<i>Sitio</i>	- 40 -
1.3.3	<i>Antecedentes dasométricos</i>	- 45 -
1.4	Experiencias en tratamientos silviculturales y manejo forestal	- 47 -
1.5	Objetivos de la investigación	- 53 -
1.5.1	<i>Objetivo general</i>	- 53 -
1.5.2	<i>Objetivos específicos</i>	- 53 -
1.6	Referencias	- 54 -
1.7	Anexos	- 63 -
2	Capítulo 2. Estudio de caracterización espacial de renovales de <i>D. winteri</i> en Chile para la determinación exploratoria de áreas de gestión silvícola	- 67 -
2.1	Resumen	- 67 -
2.2	Introducción	- 68 -
2.2.1	<i>Marco conceptual de ordenación forestal</i>	- 68 -
2.3	Productividad en renovales de <i>D. winteri</i>	- 76 -
2.4	Homogeneidad de renovales de <i>D. winteri</i> para la gestión silvícola	- 82 -
2.5	Materiales y método	- 86 -
2.5.1	<i>Area de estudio</i>	- 86 -
2.6	Antecedentes de clima y suelo	- 88 -
2.7	Fuente de información y programas utilizados	- 90 -
2.8	Evaluación de variables que inciden en la productividad en renovales de <i>D. winteri</i>	- 90 -
2.9	Determinación de estructuras homogéneas de bosques de renovales de <i>D. winteri</i>	- 93 -
2.10	Determinación exploratoria de las zonas potenciales de gestión silvícola. (ZGS)	- 94 -
2.11	Resultados	- 96 -
2.11.1	<i>VARIABLES ASOCIADAS A LA PRODUCTIVIDAD DE RENOVALES DE D. WINTERI Y SU DISTRIBUCIÓN ESPACIAL</i>	- 96 -
2.12	Distribución espacial de bosques de segundo crecimiento de <i>D. winteri</i> según clase de cobertura y altura para la definición de clases de homogeneidad	- 107 -
2.13	Zonas de gestión silvícola	- 113 -
2.14	Integración del análisis espacial con el método silvícola	- 119 -
2.15	Discusión	- 123 -
2.16	Conclusiones	- 129 -
2.17	Bibliografía	- 131 -
2.18	Anexos	- 141 -

3	Capítulo 3. Evaluación de raleos en un renoval de Canelo (<i>Drimys winteri</i> j. R. Forst. & g. Forst.) En la cordillera de la costa de valdivia. Chile: 21 años despues.	- 154 -
3.1	Resumen.	- 154 -
3.2	Introducción.	- 155 -
3.3	Materiales y método.	- 161 -
3.3.1	Área de estudio.	- 161 -
3.3.2	Diseño experimental.	- 163 -
3.4	Mediciones y evaluación de la información.	- 164 -
3.5	Resultados.	- 167 -
3.5.1	Antecedentes dasométricos y de estructura antes del raleo.	- 167 -
3.6	Antecedentes después del raleo.	- 169 -
3.6.1	Tratamientos.	- 169 -
3.6.2	Número de árboles y mortalidad.	- 172 -
3.6.3	Variación del diámetro medio cuadrático (DMC) y crecimiento diametral.	- 174 -
3.6.4	Distribución de frecuencias según clases de crecimiento para árboles cosecha o de calidad superior.	- 176 -
3.6.5	Variación del área basal y volumen.	- 178 -
3.6.6	Calidad del rodal y productos.	- 182 -
3.6.7	Variación de precio, diversidad y homogeneidad de rodales.	- 185 -
3.7	Discusión.	- 187 -
3.8	Conclusiones.	- 194 -
3.9	Bibliografía.	- 196 -
3.10	Anexos.	- 202 -
4	Capítulo 4. Estudio de rentabilidad de ensayos de raleo en renovales de <i>Drimys winteri</i> (canelo) en la Cordillera de la Costa Valdivia, Chile.	- 209 -
4.1	Resumen.	- 209 -
4.2	Introducción.	- 210 -
4.3	Materiales y método.	- 212 -
4.3.1	Área de estudio.	- 212 -
4.3.2	Antecedentes del ensayo y mediciones.	- 213 -
4.3.3	Tecnologías silvícolas.	- 213 -
4.3.4	Mediciones y procesamiento de datos.	- 215 -
4.3.5	Análisis de rentabilidad.	- 216 -
4.3.6	Modelo de optimización silvícola.	- 220 -
4.4	Resultados.	- 222 -
4.4.1	Antecedentes dasométricos y tecnología silvícola.	- 222 -
4.4.2	Análisis de rentabilidad.	- 225 -
4.5	Discusión.	- 228 -
4.6	Conclusiones.	- 233 -
4.7	Referencias.	- 234 -
5	Capítulo 5. Diagrama de Manejo de Densidad y su aplicación a raleo en Bosques de Segundo Crecimiento de <i>Drimys winteri</i> Forst. (Canelo) en el sur de Chile.	- 240 -
5.1	Resumen.	- 240 -
5.2	Introducción.	- 241 -
5.3	Método.	- 253 -
5.3.1	Área de estudio.	- 253 -
5.3.2	Fuente de información.	- 253 -
5.3.3	Construcción del diagrama de manejo de la densidad.	- 255 -
5.3.4	Aplicación del diagrama de manejo de la densidad.	- 258 -
5.4	Resultados.	- 261 -
5.4.1	Diagrama de manejo de la densidad.	- 261 -
5.4.2	Aplicación del DMD para definir tecnologías silvícolas.	- 266 -
5.5	Discusión.	- 273 -

5.6	Conclusiones.....	- 279 -
5.7	Referencias.....	- 280 -
6.	Discusión General.....	- 292 -
6.1	Referencias.....	- 307 -
7.	Conclusiones Generales.....	- 314 -

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Distribución de <i>D. winteri</i> a lo largo de Chile. Fuente: Donoso (1981).....	- 22 -
Figura 1-2. Producción anual de semillas de <i>D. winteri</i> . Fuente: Navarro et al. (1999).....	- 26 -
Figura 1-3. Renoval de <i>D. winteri</i> en etapa de latizal.	- 35 -
Figura 1-4. Distribución espacial de los renovales de <i>D. winteri</i> Provincias de Cautín, Valdivia, Osorno, Llanquihue, Chiloé y Palena, Chile.	- 36 -
Figura 1-5. Distribución diamétrica de <i>D. winteri</i> en estado de latizal.	- 39 -
Figura 1-6. Mapa ubicación clases de sitio según CALQUÍN.	- 41 -
Figura 1-7. Paisaje del Tipo Forestal Alerce donde se desarrolla <i>D. winteri</i>	- 63 -
Figura 1-8. Paisaje del Tipo Forestal Siempre Verde donde se desarrolla Canelo	- 63 -
Figura 1-9. Regeneración de tepa en bosques de <i>D. winteri</i>	- 63 -
Figura 1-10. sitios donde se establece <i>d. winteri</i> ,	- 63 -
Figura 1-11. Regeneración de <i>D. winteri</i>	- 64 -
Figura 1-12. Bosque manejado de <i>D. winteri</i>	- 64 -
Figura 1-13. anclaje de árbol de <i>d. winteri</i>	- 64 -
Figura 1-14. bosques no manejados de <i>d. Winteri</i>	- 64 -
Figura 2-1. Regiones microclimáticas distinguidas en Chile para un ordenamiento territorial con fines de planificación forestal.	- 75 -
Figura 2-2. Sitios forestales definidos por Calquín (1986).	- 81 -
Figura 2-3. Distribución espacial de los renovales de <i>D. winteri</i> para el área de estudio.	- 87 -
Figura 2-4. Precipitación y oscilación térmica del área de estudio período 1977-2006. (Elaboración propia estudio).	- 89 -
Figura 2-5. Superficie y distribución de renovales de <i>D. winteri</i> por clase de altitud.	- 98 -
Figura 2-6. Superficie y distribución de renovales de <i>D. winteri</i> por clase de exposición.	- 99 -
Figura 2-7. Superficie y distribución de renovales de <i>D. winteri</i> por clase de pendiente.	- 101 -
Figura 2-8. Superficie y distribución de renovales de <i>D. winteri</i> por clase de drenaje.	- 103 -
Figura 2-9. Superficie y distribución de renovales de <i>D. winteri</i> por clase de drenaje.	- 105 -
Figura 2-10. Superficie y distribución de renovales de <i>D. winteri</i> por clase de altura.	- 108 -
Figura 2-11. Superficie y distribución de renovales de <i>D. winteri</i> por clase de cobertura.	- 109 -
Figura 2-12. Superficie y distribución de renovales de <i>D. winteri</i> por clase de homogeneidad de rodales.	- 112 -
Figura 2-13. Zonas de gestión silvícola potencial a nivel exploratorio para bosques de segundo crecimiento de <i>D. winteri</i> en Chile.	- 118 -
Figura 3-1. Ubicación del área de estudio.	- 162 -
Figura 3-2. Estructura diamétrica por tratamiento para el período de evaluación 1985 al 2007.	- 170 -
Figura 3-3. Valores de la densidad para el período de medición 1985 -2007.	- 173 -
Figura 3-4. Valores de DMC en todos los años de medición.	- 174 -
Figura 3-5. Distribución de frecuencias de crecimiento diametral anual por tratamiento. (Rango crecimiento diametral).	- 177 -
Figura 3-6. Valores de área basal y volumen en el período de evaluación.	- 181 -
Figura 3-7: a) Valor del árbol de área basal media (US\$ árbol ⁻¹) v/s Valor del bosque (US\$ ha ⁻¹) agregando el volumen extraído en el raleo (a) y sin agregar (b).	- 185 -
Figura 3-8. Diversidad y homogeneidad por tratamiento en el año 2007 sin considerar regeneración.	- 186 -

Figura 3-9 Letrero antiguo ensayo instalado en 1985 de manejo de renovales de <i>D. winteri</i>	- 206 -
Figura 3-10 Parcela testigo Cordillera de La Costa de Valdivia	- 206 -
Figura 3-11 Vista bosques parcela testigo, Cordillera de la Costa de Valdivia	- 206 -
Figura 3-12 Vista de las copas y fuste parcelas manejadas, C. de la Costa de Valdivia	- 207 -
Figura 3-13 Bosques manejados de <i>D. Winteri</i>	- 207 -
Figura 3-14 Arboles desraizados por efecto del viento.	- 207 -
Figura 3-15 Bosques manejados de <i>D. Winteri</i>	- 207 -
Figura 5-1. Ejemplo de diagrama de manejo de la densidad (DMDs) simple, con líneas que definen el grado de ocupación del sitio (relaciones tamaño densidad a escala logarítmica). Fuente: Newton 1997.	- 247 -
Figura 5-2. Relación del DMC y densidad de las parcelas usadas en el estudio y línea de autorraleo.	- 261 -

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Presencia de <i>D. winteri</i> en los diferentes tipos forestales de Chile. ..	- 23 -
Tabla 1-2. Densidades por localidad y rango de edad de los renovales de <i>D. winteri</i>	- 37 -
Tabla 1-3. Informaciones de crecimiento de <i>D. winteri</i>	- 44 -
Tabla 1-4. Comparación de crecimiento en diámetro (CAP) según edad.	- 46 -
Tabla 1-5. Altura, productividad, producción y crecimiento medio anual en altura según clase de sitio para <i>D. winteri</i> en la Región de Los Lagos a los 35 años. ..	- 47 -
Tabla 1-6. Diámetro medio cuadrático y crecimiento diametral de renovales de <i>D. winteri</i> por tratamiento, ensayo de raleo Cordillera de la Costa de Valdivia.	- 49 -
Tabla 1-7. Niveles de extracción en área basal y respuesta en crecimiento del área basal por tratamiento de raleo, Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile.	- 49 -
Tabla 1-8. Rendimiento en volumen, niveles de extracción y respuesta en crecimiento de renovales de <i>D. winteri</i> , por tratamiento de raleo en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile.	- 50 -
Tabla 2-1. Clases de sitios para bosques de segundo crecimiento de <i>D winteri</i> (modificado de Calquin 1986).	- 91 -
Tabla 2-2. Clases de homogeneidad de rodales según clase de cobertura y clase de altura. -	93 -
Tabla 2-3. Superficie de renovales de <i>D. winteri</i> según clase de altitud, exposición, pendiente, drenaje y sitio.	- 106 -
Tabla 2-4. Superficie de bosques de segundo crecimiento de <i>D. winteri</i> por clase de altura, clase de cobertura a nivel de región y provincia	- 107 -
Tabla 2-5. Superficie por clase de homogeneidad de bosque de segundo crecimiento de <i>D. winteri</i> a nivel de región y provincia. Ch: clase de homogeneidad.	- 111 -
Tabla 2-6. Superficie y objetivos de producción por unidades potenciales de gestión silvícola.	116
Tabla 2-7. Ejemplo de uso de indicadores de control de procesos silvícolas para la zona de gestión silvícola ii: estudio de caso, resultados después de 21 años de realizados ensayo de raleo en la Cordillera de la Costa de Valdivia-chile correspondiente al año 2007.	- 122 -
Tabla 3-1. Resumen de los tratamientos de raleo en renovales de <i>D. winteri</i> , Hueicolla, Cordillera de la Costa de Valdivia.	- 164 -
Tabla 3-2. Antecedentes dasométricos originales de las parcelas a la edad de 30 años. .	168
Tabla 3-3. Regeneración natural después de 21 años de la intervención.	- 172 -
Tabla 3-4. Resultados de índice de densidad relativa (IDR), mortalidad, área de copa promedio y crecimiento anual periódico de árboles dominantes para los tratamientos de raleo después de 21 años de aplicadas las intervenciones - Cordillera de la Costa de Valdivia - Chile. (*)	- 178 -
Tabla 3-5. Variación del área basal (m ² /ha) y volumen (m ³ /ha) por tratamiento para el período de medición.	- 181 -
Tabla 3-6. Parámetros del rodal según calidad año 2007.	- 183 -
Tabla 3-7. Variación del volumen neto aserrable, pulpable y leña (m ³ /ha) por tratamiento y años de medición, para <i>D. winteri</i> y el total de especies.	- 184 -
Tabla 4-1. Precios y costos de producción en trozos puesto planta para mercados de tableros y astillas.	- 219 -

Tabla 4-2. Antecedentes dasométricos medios por año de medición..... - 224 -
Tabla 4-3. Indicadores de rentabilidad por tratamiento y tasa de descuento..... - 226 -
Tabla 5-1. Estadística descriptiva de los datos usados para la construcción del
DMD..... - 255 -

RESUMEN GENERAL

Drimys winteri J. R. Forst. & G. Forst. (Canelo) forma densas masas de regeneración en el sur de Chile, estableciéndose donde el bosque ha sido cortado, quemado o destruido por algún agente natural, ocupando sitios con humedad permanente en el suelo, alcanzando una dimensión espacial de alrededor de 252 mil hectáreas. Estas formaciones se denominan en Chile renovales y corresponden a los bosques de segundo crecimiento, donde dominan los estados de desarrollo de monte bravo, latizal y fustal; presentando muy buenos crecimientos, colonizan sitios de muy mala calidad, presentan buen potencial comercial y excelentes respuestas a intervenciones silviculturales. Sin embargo, no existe, una industria desarrollada en base a este recurso, una oferta de madera de calidad y productores silvícolas organizados. En este contexto, este estudio contribuye a fortalecer la gestión de productores de madera de canelo y tomadores de decisiones, mediante un análisis silvícola-económico y desarrollo de herramientas de gestión forestal. El primer estudio de nivel exploratorio define las unidades potenciales de gestión silvícola, incorporando elementos de homogeneidad de rodales y de sitio; el segundo realiza una propuesta de tecnologías silvícolas para la producción de madera de alta calidad, a partir de la evaluación del ensayo de raleo vigente más antiguo documentado, incorporando el concepto de densidad relativa, ocupación de sitio y niveles de competencia. El tercer estudio realiza la evaluación de la rentabilidad del manejo de estos para el mercado interno basado una serie de supuestos de tasas de descuento y del productor, determinando la tecnología o senda de manejo que optimiza volumen total y valor neto presente. El análisis integrado del estudio dos y tres, dimensiona el potencial para el sur de Chile de este recurso incorporando solo madera, realidad que sin duda se verá favorecida en las próximas décadas con la valoración de los servicios a nivel planetario que cumplen los bosques. El cuarto estudio desarrolla un diagrama de manejo de la densidad para los bosques de *D. winteri*, que permite realizar propuestas silviculturales con mayor precisión, de manera independiente del sitio.

INTRODUCCIÓN GENERAL

CAPÍTULO 1

1 CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.

1.1 Marco general.

En Chile los tipos de bosques que despiertan mayor interés económico son los renovales o bosques de segundo crecimiento. Destacan por su forma, rápido crecimiento y calidad de su madera los renovales de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (Roble), *Nothofagus procera* (Poep. & Endl.) Oerst. (Raulí), *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. (Coigüe) y *Drimys winteri* J. R. Forst. & G.Forst. (Canelo). Estos últimos presentan buenas características para incorporarse al desarrollo económico social del país, alcanzando su mejor expresión en cuanto a superficie y productividad en la Región De Los Lagos, donde forman parte de los tipos forestales Alerce y Siempreverde. Cubren una superficie estimada en esta región de 264.000 hectáreas, lo cual sumado a los buenos crecimientos que en términos volumétricos varían con mayor frecuencia entre los 10 y 15 m³/ha/año, reflejan el gran potencial de este recurso para el desarrollo del país (INFOR, 2004). Si se agrega a lo anterior las adecuadas propiedades físicas, mecánicas, anatómicas y químicas de la madera que la hacen adecuada para distintos usos industriales, sin duda que contamos con un recurso de grandes perspectivas.

La madera históricamente se ha destinado al mercado interno a escala local, existiendo sin embargo mercados externos de pequeña envergadura que están siendo abordados actualmente por empresas forestales del sur de Chile. Tradicionalmente la especie *D. winteri* ha sido usada para mueblería, construcción de viviendas, para chapas, fabricación de instrumentos musicales y en medicina popular.

Otros usos potenciales han sido planteados en algunos estudios, los que concluyen que la madera tiene adecuadas características para la fabricación de papel y producción de tableros de partículas (Chesney, 1970; Rojas, et al., 1975; Urzúa y Poblete, 1980).

Cabe destacar que para el pueblo mapuche es su árbol sagrado, simboliza la paz y está presente en sus ritos y medicina, presentando propiedades como antiinflamatorio, antitumoral, antibacterial (específicamente contra *Staphylococcus aureus*) e insecticida. Muñoz et al., (1999) destacaron sus propiedades insecticidas gracias a la presencia de sesquiterpenos como poligodial, warburganal, sesamina, drimenol e isodrimeninol cuyos compuestos, según Barrero *et al.* (2000), constituyen el 71% del total de aceites esenciales presentes en la corteza de *D. winteri*. De acuerdo a lo citado por INFOR (2004) especial importancia presentaría el metabolito secundario poligodial, compuesto que al ser ingerido por algunos insectos desde el follaje u otra estructura del *D. winteri* inhibiría su capacidad de alimentarse ya sea de forma temporal o permanente dependiendo de la concentración en que se encuentre.

Los compuestos presentes en el *D. winteri* podrían constituir una importante alternativa complementaria a la actividad forestal, considerando el aprovechamiento selectivo de sus desechos industriales (hojas, ramas y corteza) para fines farmacéuticos, industriales y biocidas en la protección de los cultivos (Corvalán, 1987; Loewe *et al.* 1997; Morales y García, 2000).

1.2 Antecedentes generales de la especie.

El nombre D. winteri, deriva del médico inglés William Winter, quien acompañó en uno de sus viajes a América a Francis Drake en el año 1578 y aconsejó emplear la corteza de esta especie para combatir el escorbuto del que había sido afectada la tripulación. El nombre del género *Drimys* deriva del griego y significa picante (Fernández, 1985; Corvalán, 1987).

La amplia distribución geográfica de la especie y la gran variación de las condiciones medioambientales, han dado origen a cuatro variedades: variedad *chilensis* desde Coquimbo hasta Aysén en la Cordillera de la Costa, variedad *andina* desde Cautín a Llanquihue, variedad *punctata* al sur del paralelo y variedad

confertifolia que habita en la isla Juan Fernández. Actualmente la variedad andina ha pasado a constituir una nueva especie: *Drimys andina* (Reiche) R. A. Rodr. & Quezada (Rodríguez y Quezada, 1991).

Estudios de diferenciación genecológica en poblaciones de *D. winteri* han demostrado para dos poblaciones relativamente próximas en la Cordillera de la Costa de Valdivia, una perteneciente a sitios de altura con buen drenaje y otra a sitios bajos con suelos húmedos, que presentan una clara diferenciación en características morfológicas y fisiológicas, permitiendo definir dos posibles ecotipos para la especie (Millanao, 1984; Donoso, 1993).

1.2.1 Distribución de *D. winteri* en Chile.

En Chile la especie *D. winteri*, se distribuye desde el río Limarí provincia de Coquimbo hasta el Cabo de Hornos en la Región Austral, tanto en el continente como en islas aledañas; y altitudes que van desde el nivel del mar normalmente hasta los 600 m.s.n.m. pero alcanzando una altitud máxima de 1.700 m.s.n.m. en este último caso como *D. andina*. (Figura 1-1). Forma parte de distintos tipos forestales, ocupando en ellos distintos estratos sociales. (Tabla 1-1) (Donoso, 1981).

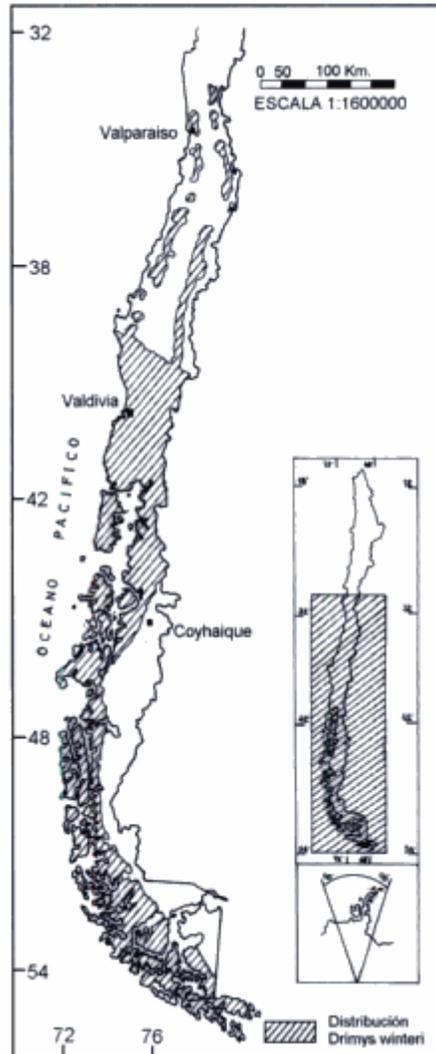


Figura 1-1. Distribución de *D. winteri* a lo largo de Chile. Fuente: Donoso (1981)

Hacia el sur, su presencia aumenta, pero siempre bajo las condiciones de alta humedad que se hacen más frecuentes con el avance del clima oceánico templado húmedo. Aproximadamente al sur de los $39^{\circ} 40' S$, se hace más importante como un componente permanente de los bosques, pero siempre siendo más abundante en las condiciones de mayor humedad, situación que se mantiene hasta el sur, variando en función de las características climáticas, especialmente relacionada con las precipitaciones (Donoso, 2006).

Tabla 1-1. Presencia de *D. winteri* en los diferentes tipos forestales de Chile.

Tipo Forestal	Condición	Especies asociadas
Esclerófilo y Palma chilena	Higrófitos de quebrada	<i>Persea lingue</i> , <i>Cryptocarya alba</i> , <i>Aextoxicum punctatum</i> , <i>Crinodendron patagua</i>
Roble-Hualo	Higrófitos de quebrada En bosques de Roble- Raulí	<i>N. dombeyi</i> , <i>N. obliqua</i> , <i>P. lingue</i> , <i>A. punctatum</i> , <i>Gevuina avellana</i> , Mirtaceas, <i>Laurelia sempervirens</i> , <i>N. alpina</i> , <i>Nothofagus glauca</i> , <i>P. lingue</i> .
Roble- Raulí- Coigüe	En quebradas o cursos de de agua y sectores húmedos	<i>N. obliqua</i> , <i>L. sempervirens</i> , <i>P. lingue</i> , <i>Eucryphia cordifolia</i> , <i>A. punctatum</i> , <i>N. dombeyi</i> , <i>Laureliopsis philippiana</i> , Mirtaceas, <i>Proteaceas</i> , <i>Caldcluvia paniculata</i>
Lenga	Sotobosque en altura con <i>D. andina</i>	<i>Nothofagus pumilio</i> , <i>N. dombeyi</i> , <i>Nothofagus betuloides</i> , <i>Nothofagus antarctica</i> .
Araucaria	Sotobosque en altura con <i>D. Andina</i> y en asociación en la cordillera de Nahuelbuta.	<i>Araucaria araucana</i> , <i>N. dombeyi</i> , <i>N. pumilio</i> , <i>N. obliqua</i> , <i>N. antarctica</i> , <i>N. alpina</i>
Coigüe- Raulí - Tepa	Especialmente en áreas húmedas o quebradas y en áreas transicionales hacia el Tipo Forestal Siempreverde.	<i>N. dombeyi</i> , <i>N. alpina</i> , <i>L. philippiana</i> , <i>Dasyphyllum diacanthoides</i> , <i>Saxegothaea conspicua</i> , <i>E. cordifolia</i> , <i>Weinmannia trichosperma</i> , <i>P. lingue</i> , <i>L. sempervirens</i> , Mirtaceas, <i>Proteaceas</i> , <i>A. punctatum</i>
Siempreverde	Especie constituyente de diferentes estratos	<i>Todas las siempreverdes según latitudes.</i>
Alerce	Especie constituyente de estratos intermedios.	<i>Fitzroya cupressoides</i> , <i>Pilgerodendron uviferum</i> , <i>S. conspicua</i> , <i>Podocarpus nubigena</i> , <i>W. trichosperma</i> , <i>P. lingue</i> , <i>L. sempervirens</i> , Mirtaceas, <i>Proteaceas</i> , <i>A. punctatum</i>
Ciprés de las Guaitecas	Especie constituyente de diferentes estratos	<i>P. uviferum</i> , <i>N. betuloides</i> , <i>Nothofagus nitida</i> , <i>N. antarctica</i> , Mirtaceas, <i>Proteaceas</i> .
Coigüe de Magallanes	Especie asociada a sectores costeros y húmedos	<i>N. betuloides</i> , <i>N. pumilio</i> , <i>N. antarctica</i> , <i>Embothrium coccineum</i> , <i>M. magallanica</i>

1.2.2 Autoecología de la especie.

Las plantas de *D. winteri* suelen iniciar la producción de flores alrededor de los 10 años de edad aunque no se tiene una evaluación precisa al respecto de acuerdo a lo planteado por Donoso (2006). Siendo una especie factible de propagar por vía tanto sexual como asexual con relativo éxito (Donoso y Cabello, 1978; Sabja, 1980; Donoso *et al.* 1984; Fernández. 1985). Normalmente regenera en forma sexual a partir de semillas; y cuando las condiciones ambientales son muy adversas para la regeneración de la especie, como una excesiva insolación o falta de humedad,

presenta regeneración vegetativa a partir de yemas adventicias de las raíces. Es frecuente encontrar este tipo de regeneración vegetativa en los renovales de *D. winteri* y ello se debería a los fuertes cambios de humedad que se producen en el interior del bosque entre las épocas de verano e invierno, la especie no regeneraría de tocón, según lo observado en terreno (Corvalán *et al.* 1987).

La habilidad reproductiva de la especie produce inicialmente un renoval de monte alto. Posteriormente con el transcurso del tiempo, se originan brotes de las yemas adventicias, originando un renoval típico de *D. winteri* de monte medio. Debido a la regeneración vegetativa y a las altas densidades que presentan, es frecuente encontrar distribuciones de tipo agrupadas en las etapas de monte bravo y latizal; lo cual implica extracciones fuertes al aplicar raleos que liberen a los potenciales árboles cosecha.

Para manejar adecuadamente el problema de la regeneración, debe tenerse en cuenta el llamado triángulo de la regeneración (Daniels *et al.* 1982): fuente de semilla, cama de semilla y medio ambiente, estos factores se analizan a continuación.

1.2.3 Fuente de semillas.

La semilla de *D. winteri* es de tamaño mediana y densa, y generalmente es diseminada por gravedad, debido a que cae con el fruto. También es diseminada por aves frugívoras, en particular por *Elaenia albiceps chilensis* Hellmayr. (Fío Fío), *Xolmis pyrope pyrope* Kittlitz. (Diucón), *Sicalis luteola luteiventris* Meyen. (Chirihue), *Turdus falklandii magellanicus* King. (Zorzal), *Colaptes pitius pitius* Molina. (Pitio) y *Patagioenas araucana* Lesson. (Torcaza) (Armesto *et al.* 1987). Presenta un rango de 220.000 a 320.000 semillas por kilogramo (Donoso, 1989).

Los individuos de la especie semillan tempranamente. En renovales de 25 a 30 años en la Cordillera de la Costa de Valdivia, se encuentran producciones promedio, en un periodo de cinco años de 874.000 semillas por hectárea (Donoso

et al. 1993). Esto destaca la importancia de los raleos tratamientos también conocidos como claras, en este tipo de bosques, ya que permiten direccionar el manejo a obtener regeneración natural temprana, dependiendo de las características ambientales que produzca la intervención.

La mejor forma de recolectar las semillas es cogiendo los frutos desde el árbol una vez que están maduros, lo que dependerá del lugar de recolección y el año. Su madurez se identifica por el color negro violáceo que adquieren los frutos, y en algunas procedencias por un color blanquecino o plomizo sin punteaduras oscuras (Donoso, 2006).

La calidad de las semillas producidas por *D. winteri* en cuanto a su viabilidad o capacidad potencial de germinar, es media a alta en casi todas las semillas producidas, independientemente del mes o año de producción (Donoso, 1989). Generalmente, cuando hay producción en un mes, aunque las semillas sean escasas, la viabilidad es media a alta (Donoso *et al.* 1993). Sin embargo, a pesar de la alta viabilidad, los ensayos de germinación muestran frecuentemente baja capacidad germinativa, debido a que la semilla posee un embrión inmaduro, lo que impide la germinación (Botti y Cabello, 1984). Pero, una vez en el suelo, el embrión madura y cuando se abre el bosque por un fenómeno alogénico, las semillas logran germinar y establecer abundante regeneración. El tiempo que tarda en germinar no ha sido determinado, con respecto al almacenamiento de semillas no se han obtenido buenos resultados (Donoso, 2006).

La figura 1-2 muestra la producción anual de semillas en bosques adultos siempreverde de la Cordillera de la Costa y Cordillera de Los Andes, además de renovales de *D. winteri* de la Cordillera de la Costa.

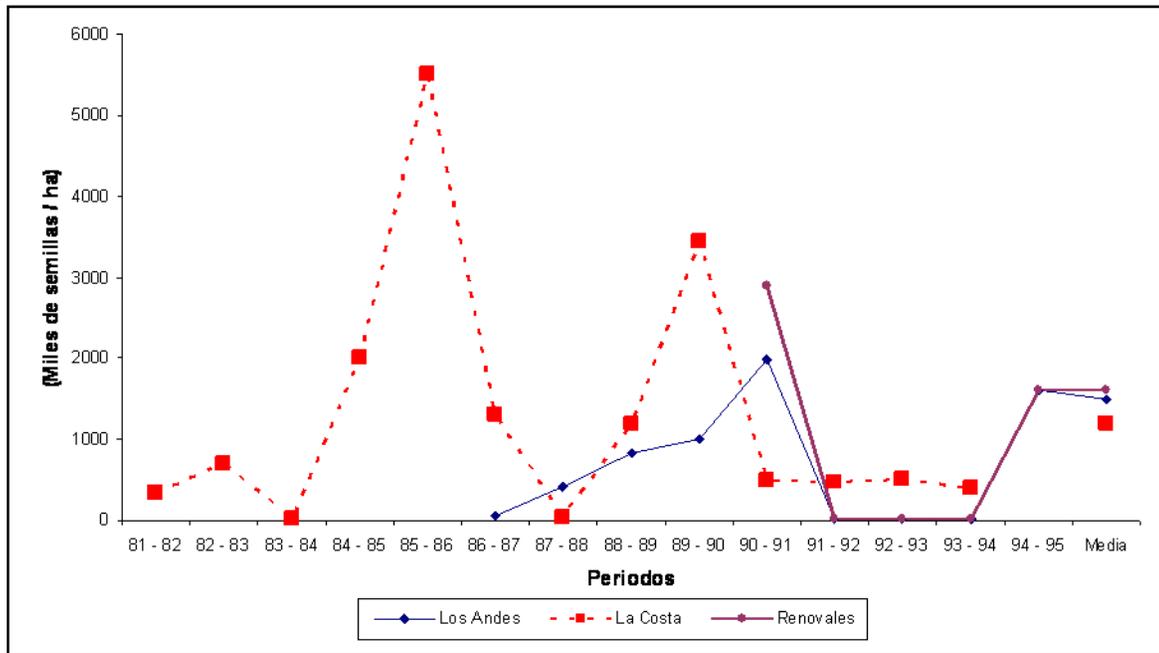


Figura 1-2. Producción anual de semillas de *D. winteri*. Fuente: Navarro *et al.* (1999).

1.2.4 Cama de semillas.

Las semillas de *D. winteri*, se adecuan para germinar en suelos orgánicos con hojarasca y bajo distintos grados de sombra, y donde cuentan con bastante abastecimiento de humedad permanente. Las condiciones óptimas para la germinación y desarrollo de la regeneración natural, definidas por Corvalán *et al.* (1987) son:

- a) Humedad permanente en el suelo, pero sin que llegue a presentarse anegación.
- b) Suelo no alterado por compactación o remoción de la hojarasca.
- c) Abundante materia orgánica en descomposición en el suelo. Cuando se presentan troncos caídos en el suelo en proceso de pudrición, la regeneración prospera sobre ellos de manera sobresaliente con respecto a situaciones normales inmediatamente vecinas. Esto podría deberse a la

- mayor cantidad de nutrientes de que allí dispone y a la mantención de la humedad en veranos secos.
- d) Un requisito esencial para el desarrollo de las plántulas es tener protección, ya sea superior o lateral durante sus primeras etapas. Posteriormente sigue desarrollándose en forma adecuada sin ella.
 - e) La cobertura que se presenta debe ser tal, que deje ingresar durante algún periodo del día insolación directa.
 - f) Cuando se producen las condiciones óptimas, las plántulas se desarrollan vigorosamente y sanas. Si la regeneración no recibe insolación directa en todo el periodo, puede desarrollarse, pero lo hace en forma poco vigorosa y con gran tendencia a presentar mala calidad.

1.2.5 Medio ambiente para la germinación y establecimiento.

Gran parte de las semillas del tipo forestal siempreverde tienen latencia de distintos tipos que, generalmente, impide que germinen al caer en otoño. La mayor parte necesita de un periodo frío, que se satisface durante el invierno y de estratificación en humedad que es proporcionada por la hojarasca y en algunos casos por la nieve. Las semillas viables que posee la especie pueden germinar y se inicia el desarrollo de las plántulas, cuya sobrevivencia depende de otros factores del medio ambiente que son, principalmente: luz, humedad, temperatura y competencia de otras o de la misma especie. Algunas especies se reproducen, mediante brotes de raíz, que en ocasiones pasa a ser el medio más importante, particularmente cuando la temperatura de la raíz aumenta por exposición del suelo a la luz solar, como ocurre con *D. winteri* (Donoso, 1993).

En vivero el tratamiento pregerminativo utilizado experimentalmente y con buenos resultados, ha sido la estratificación en arena húmeda entre 3 y 4 grados durante 110 días, alcanzando capacidades germinativas de 64,3% para procedencias de

Valdivia; mientras que procedencias de más al norte (Bullileo, VII Región del Maule) requieren sólo 90 días de estratificación (Donoso *et al.* 1995). Estos tratamientos pueden ser análogos a los que proporciona la naturaleza.

Un estudio desarrollado por Corvalán *et al.* (1987) en relación con el efecto que producía la clase de uso de suelo y la estructura de la vegetación, en la regeneración natural de *D. winteri* mostró, que las praderas y renovales son desfavorables para el desarrollo de la regeneración natural, aunque los renovales no lo son para otras especies forestales. Como lo plantean algunos autores, (Corvalán *et al.* 1987 y Donoso, 1993), los bosques intervenidos serían las condiciones de estructura de bosque más favorables para la regeneración natural. Esto se demostró en un estudio realizado paralelamente en bosques siempreverdes de la Cordillera de la Costa y Cordillera de Los Andes, concluyendo que en intervenciones, ya sea de, talas rasas, árbol semillero, cortas de protección y cortas de selección al cabo de 1 año de aplicadas, la regeneración es escasa; sin embargo, al tercer año es abundante en ambas cordilleras (Navarro *et al.* 1997).

1.2.6 Regeneración.

Appel (1993), con el objetivo de entregar información de la regeneración en los distintos tratamientos de claras en renovales de *D. winteri*, evaluó el ensayo después de 6 años de aplicados los tratamientos, determinando que la sobrevivencia y calidad de la regeneración establecida en los tratamientos no está garantizada, y ésta debe sufrir los efectos de la competencia y selección natural. Sin embargo, como el cierre de copas en este tipo de renovales es lento y no total, y las especies establecidas de interés económico actual son tolerantes, a excepción de *Embothrium coccineum* J. R. Forst. & G. Forst. (Notro), se espera un futuro promisorio para ellas. Cabe destacar que para lograr una regeneración exitosa, se requiere de humedad permanente del suelo pero no drenaje muy impedido, abundante materia orgánica con algunos troncos caídos en descomposición donde es capaz de establecerse parte de la regeneración una cierta semisombra que

permita siempre un ingreso de luz directa en un período del día (Corvalán *et al.* 1998; Lusk, 1995; Navarro *et al.* 1999). Los renovales originados de esta manera son coetáneos y tienen baja mortalidad, muy altas y variables densidades en la etapa de regeneración, que fluctúan entre 4.000 y 20.000 árboles por hectárea, en que generalmente del orden del 80 % corresponden a *D. winteri* (Donoso, 1996).

1.2.7 Calidad, plagas y enfermedades que afectan a *D. winteri*.

Una de las características atractivas de *D. winteri* cuando forma bosques puros, son sus fustes rectos, cilíndricos y sin deformaciones, que por lo general presentan el 50% de la altura total libre de ramas, lo que es un indicador aparente de buena calidad. Esto le otorga características interesantes desde el punto de vista maderable, que sumado a sus buenas propiedades tecnológicas y anatómicas la hacen adecuada para distintos usos industriales.

D. winteri en la etapa de renoval sufre pocos daños y la mayoría es en las hojas y, en general, son de baja magnitud y no revisten mayores problemas para la especie. Esto se atribuye a los compuestos químicos presentes en la especie y que evitarían el ataque de insectos, o disminuirían su ataque temporalmente (Oyarzun, 1983). Sin embargo, se han detectado hongos e insectos que atacan principalmente las hojas: existe un hongo llamado *Asterinella drimydis* que ataca a las hojas, causando manchas alquitranadas. También se ha encontrado larvas de lepidópteros que son minadoras de hojas. Otro lepidóptero (*Tortricidae*), es un juntador de hojas y también existe un himenóptero (*Cecidomiidae*) que produce agallas en las hojas (Fernández, 1985).

En los renovales de *D. winteri* no se ha realizado un estudio de defectos para evaluar las existencias netas de productos aprovechables para distintos sitios y edades de los renovales; sin embargo, a nivel predial en faenas forestales y claras experimentales se ha encontrado una aceptable calidad interna para diámetros hasta 60 cm.

1.2.8 Aptitudes maderables y no maderables.

Debido a las favorables características de la madera, evidenciadas en sus propiedades físicas, químicas y anatómicas, ha sido usada para distintos propósitos tales como: mueblería, artesanía, envases, construcción de viviendas, chapas, cajones y construcción de instrumentos musicales (Pérez, 1983; Loewe, 1987).

Las posibilidades de utilización industrial de esta madera dependen de si se encuentra en estado de renoval o en dimensiones mayores, como también de sus propiedades físico-mecánicas y químicas (Rodríguez, 1998).

Un estudio referente a la aptitud papelera del *D. winteri* fue realizado por Chesney (1970), quien concluyó que la madera tiene adecuadas características para la fabricación de papel, confirmadas por la clasificación de Muhlsteph, presentando buena resistencia a la tracción y conveniente resistencia al rajado. El valor alcanzado para el largo de fibras destaca como el más alto entre las especies nativas, superior incluso a las del *Pinus radiata* D. Don., alcanzando un valor de 3,58 mm en los árboles maduros y 2,90 mm, en renovales. Las propiedades de resistencia de los papeles manufacturados con *D. winteri* deberían ser superiores a las de los hechos con *P. radiata*, debido a las características de sus fibras.

Un uso potencial de la especie ha sido analizado por Urzúa y Poblete (1980), quienes encontraron que la especie tiene favorables aptitudes para la fabricación de tableros de partículas al igual que *N. dombeyi*, y *Podocarpus sp.* Otra posible utilización de la especie, la encontramos en el trabajo desarrollado por Linetzky (1940), quien investigó el contenido de vitamina C en la corteza de *D. winteri*, encontrando que la cantidad de esa vitamina es notablemente superior a la contenida en frutas como naranja y limón, explicándose así la práctica popular de los aborígenes de Chile y de los navegantes, que utilizaban la esta corteza para combatir el escorbuto.

Entre los constituyentes químicos que posee *D. winteri*, se destacan taninos (1,7%), ácido ascórbico, aceites esenciales como piperonal, linalol, limoneno, criptomeridiol, taxifolina, astilbina, terpenos y varios flavonoides como luteolina y kaempferol, entre otros (Montes y Wilkomirsky, 1980; Cortés y Oyarzun, 1981; Cortés *et al.* 1982; Montes y Wilkomirsky, 1985; Torres *et al.* 1992; Cechinel *et al.* 1998; El-Sayah *et al.* 1998; Muñoz *et al.* 1999; Malheiros *et al.* 2001; Muñoz-Concha *et al.* 2004; Pacheco *et al.* 1977; Rodríguez *et al.* 2005). Las hojas contienen productos químicos como Drimenol, Drimina, Isodrimina y Canelin, que han sido estudiados desde la década de 1970, por el poder anticancerígeno que poseen como inhibidores de tumores linfáticos (Donoso, 1978; Niebuhr, 1988).

El uso actual de *D. winteri* y las potencialidades de la especie, reflejan las grandes perspectivas de este recurso para incorporarse en forma importante al sector productivo forestal, dentro de un modelo de sustentabilidad.

1.2.9 La madera y la industria.

La madera de *D. winteri* es de color castaño rosado claro, presentando en su cara longitudinal vetas notorias de color algo más oscuro, constituidas por los radios leñosos. La albura presenta un color un poco más claro que el duramen y la madera presenta anillos de crecimiento que son fáciles de distinguir, no posee olor ni gusto característico y que puede adquirir un brillo suavemente plateado cuando está recién cepillada (Díaz-Vaz *et al.* 1986).

La madera de *D. winteri* se caracteriza por ser una madera de fibra larga, es de peso liviano alcanzando 470 kg/m^3 de densidad, demostrando una contracción volumétrica de un 15% promedio y se considera de resistencias mecánicas medianas. El secado puede ser bajo condiciones controladas sin grandes dificultades; una vez seca, es dimensionalmente estable. Tiene una durabilidad natural moderada, con una vida útil estimada de entre 5 y 15 años y su preservación también es fácil, permitiendo una penetración regular, con absorciones cercanas a

los 450 l/m³ en albura y 300 l/m³ en duramen. No presenta ningún problema en los procesos de pintado, barnizado y encolado.

De los procesos industriales estudiados destacan el secado de la madera de *D. winteri* realizado por Pérez *et al.* (2007), quien evaluó dos programas de secado de piezas de 25 y 50 mm de espesor, desde el estado verde hasta un 10% de humedad final. El estudio demostró que la calidad de secado de la madera de renovales fue condicionada por la calidad de la madera verde, determinando un mejor comportamiento cuando se realizó un presecado natural, respecto de un secado artificial a temperaturas convencionales, el impacto fue más notable en la madera de 50 mm de espesor.

Respecto a trabajos relacionados con la trabajabilidad de la madera Bustos *et al.* (2005), determinaron que la madera de *D. winteri* tiene buen comportamiento frente a los procesos de cepillado, moldureado, torneado y lijado. Sin embargo, industrialmente la madera de *D. winteri* solo se ha usado para el aserrío. El año 2000 la cosecha de madera en trozas para aserrar de *D. winteri* fue de 20.616 m³ssc, volumen que correspondió a un 0,2% del total nacional y 3,3% del consumo de la industria de aserrío de especies nativas. El 99% del total de la producción de trozas y el consumo industrial ocurren en la Región De Los Lagos (INFOR, 2004).

El 77,4% fue procesado en aserraderos móviles y el 22,6% restantes en aserraderos permanentes. El 83% se generó en la zona de Llanquihue y Chiloé, provincias en las cuales la producción de madera aserrada de *D. winteri* representa el 17% del volumen anual de madera aserrada producido (INFOR, 2004).

En un estudio de mercado realizado por INFOR (2004) y de acuerdo al proceso y análisis de la información de fuentes secundarias y primarias donde se abarcó cuatro estados de la Unión Norteamericana y tres países de Europa; se estimó que la madera de *D. winteri* es estéticamente muy buena, es algo liviana y no muy dura. El estudio determinó que la madera puede ser utilizada principalmente en muebles y molduras especiales, aprovechando sus buenas características estéticas y precios, y que perfectamente puede ser colocada en forma competitiva en el mercado

internacional, quizás con más facilidad en Estados Unidos de Norteamérica que en Europa.

Según Navarro *et al.* (1997), algunos de los atributos que convierten a los renovales de *D. winteri*, en una importante alternativa de desarrollo para el sur de Chile, son su ubicación en un territorio con una muy buena infraestructura caminera, cercano a grandes ciudades y puertos; además de una alta concentración poblacional actual y creciente en el futuro:

- a) La importante superficie de renovales de *D. winteri* que se desarrollan en el sur de Chile, asociada a su buena accesibilidad y pendientes moderadas, permitiría que este recurso sea manejado comercialmente.
- b) Las altas productividades y crecimientos de *D. winteri*, y sus adecuadas características para distintos usos industriales y no industriales, convierten a estos bosques en una alternativa de desarrollo real para importantes áreas deprimidas de nuestro país.
- c) La gran variabilidad intraespecífica que presenta la especie, permite contar con una diversidad de patrones genéticos; lo que es una ventaja en ensayos de mejoramiento genético, introducción de especies y establecimiento de plantaciones.
- d) Las respuestas positivas en crecimiento en raleos tardíos, indican la potencialidad de manejar el recurso en rotaciones cortas. Esto produciría una homogeneidad de productos, mejoramiento de su calidad y mayor producción económica. El manejo de estos renovales puede ser direccionado a bosques mixtos, o bosques más simples donde domine *D. winteri*.
- e) La importancia ecológica de *D. winteri* al poblar áreas con exceso de humedad e iniciar como especie pionera el proceso de sucesión, la convierten en un motor de recuperación de áreas frágiles y de baja productividad.

1.3 Los renovales de *D. winteri*.

De los bosques nativos de Chile, un 44,5% corresponde a bosque adulto, un 26,7% a Renoval, un 22,4% a Bosque Achaparrado y sólo un 6,4% a Bosque Adulto Renoval. Desde una perspectiva del potencial de intervención silvícola en el corto plazo, bajo criterios de manejo sustentable, son de importancia 4.447.671 ha que corresponden a las estructuras Renoval y Bosque Adulto Renoval (Emanuelli y Milla, 2006). Esto se fundamenta en los crecimientos de estos bosques, su buena accesibilidad y al reconocimiento comercial de su madera.

La presencia de *D. winteri* en los distintos tipos forestales es especialmente importante en el sur de Chile, donde forma parte de los tipos forestales Alerce, Siempreverde y en menor medida Ciprés de las Guaitecas, ocupando los doseles superior e intermedio. Alcanza su mayor relevancia en el Tipo Forestal Siempreverde constituyendo el subtipo renovales de *D. winteri* (figura 1-3, 1-4). Estos renovales corresponden a densas masas de regeneración de esta especie que se establecen donde el bosque ha sido cortado, quemado o destruido por algún agente natural. No siempre es *D. winteri* la especie colonizadora, pudiendo serlo en ocasiones *Nothofagus nitida* Krasser., *E. coccineum* o Mirtáceas, lo que dependerá probablemente del sustrato, de la presencia y abundancia de otras especies en el área, del banco de semillas, de variables fisiográficas y de la interacción de aves o mamíferos. Se puede definir un renoval de *D. winteri* como aquel en que la especie es abundante y domina el paisaje, con cobertura en área basal y densidad superior o igual al 50% del total y predomina en su mayor parte un desarrollo juvenil, incluyendo las etapas de brinzal, monte bravo o latizal, y escasa o nula regeneración en el piso del bosque. Los renovales de *D. winteri* alcanzan sus mejores crecimientos en las provincias de Llanquihue y Chiloé (Figura 1-3),

formando bosques puros y mixtos, regenerando fácilmente en forma natural, alcanzando importante superficie de 260 mil hectáreas en Chile (INFOR, 2004).

Cabe destacar que el rango de edades más frecuentes de estos renovales es de 20 a 40 años, pudiendo encontrarse edades de hasta 80 años. Los rangos de diámetros se encuentran entre 8 a 15 cm y las densidades fluctúan entre 2.000 y 36.000 árboles por hectárea, con productividades medias que varían entre 8 y 15 m³/ha año (Navarro *et al.* 1997)



Figura 1-3. Renoval de *D. winteri* en etapa de latizal.

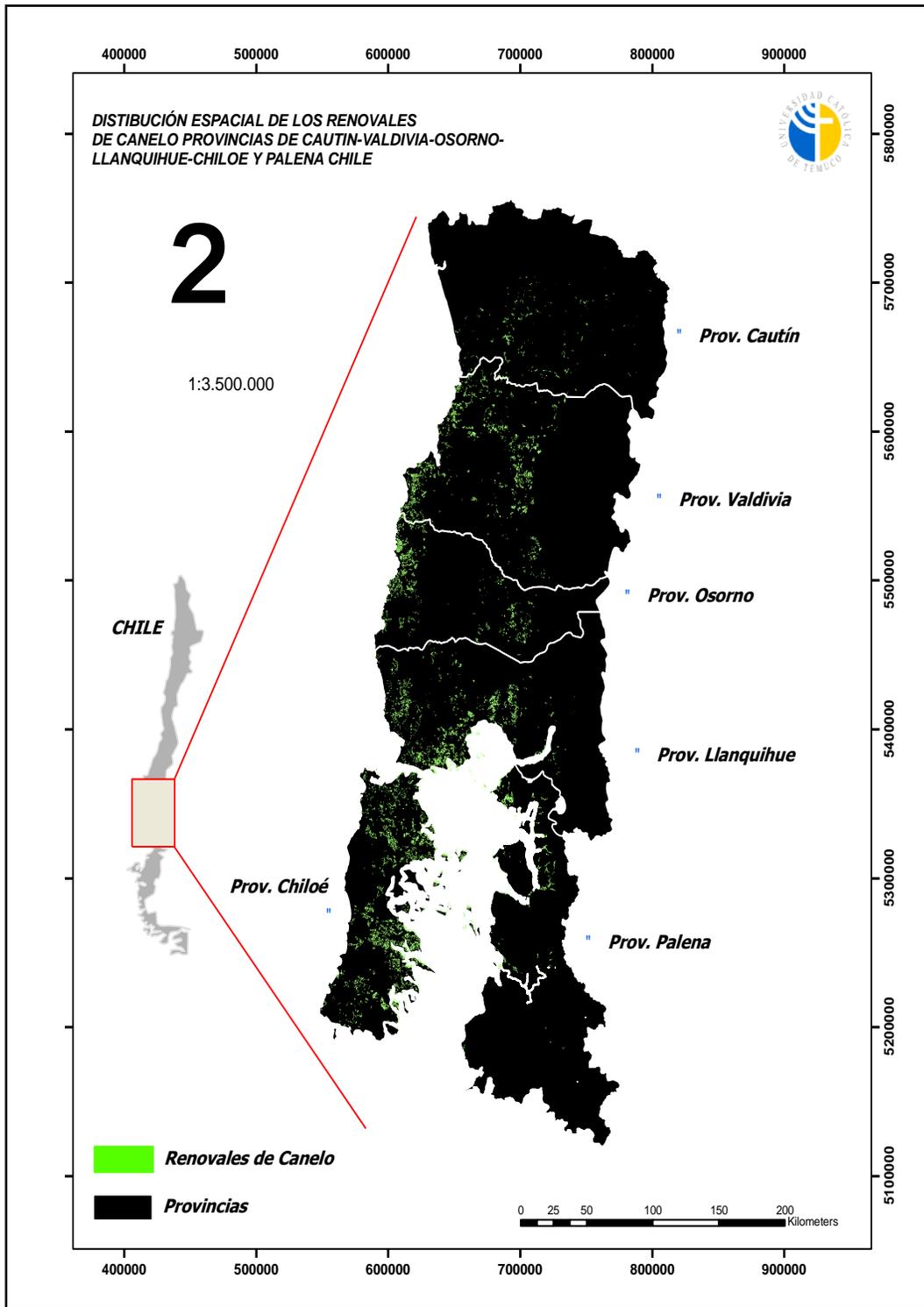


Figura 1-4. Distribución espacial de los renovales de *D. winteri* Provincias de Cautín, Valdivía, Osorno, Llanquihue, Chiloé y Palena, Chile.

1.3.1 Estructura, densidad y distribución diamétrica.

La estructura de un rodal generalmente se define utilizando los atributos densidad, frecuencia, clase de tamaño, cobertura, composición florística, estructura de edades, estructura vertical y distribución horizontal de los individuos. En este punto se presenta información respecto de la densidad, distribución diamétrica y los crecimientos de las poblaciones que constituyen los renovales de *D. winteri*, variables fundamentales para realizar cualquier acción de manejo silvicultural.

En renovales de *D. winteri* las densidades varían en función del sitio y la edad, determinándose cifras extremas de 35.900 árboles por hectárea en Chiloé a los 6 años (Corvalán, 1977) y 2.125 árboles por hectárea en la Cordillera de la Costa de Valdivia a los 80 años (Gunckel, 1980). (Tabla 1-2).

Tabla 1-2. Densidades por localidad y rango de edad de los renovales de *D. winteri*.

Rango de densidad (árb/ha)	Rango de edad (años)	Lugar	Fuente
15.300 a 35.900	6 a 20	Isla de Chiloé	Corvalán, 1977
10.625 a 12.676	20 a 30	Isla de Chiloé	Sanchez, 1986
7.440 a 7.950	21 a 30	Isla de Chiloé	Sanchez, 1987
8.000 a 20.000	35 a 40	Chaitén	Jaramillo, 1977
7.506 a 5.613	25 a 35	Cordillera de la Costa Valdivia	Tapia, 1982
3.514 a 2.125	80 a 100	Cordillera de la Costa Valdivia	Gunkel, 1980
4.784 a 8.451	20 a 30	Cordillera de la Costa Valdivia	Navarro, 1992
4.177 a 8.413	13 a 27	Llanquihue	Ballhary, 1984

Las altas cifras de densidad permiten por un lado mayor flexibilidad en las decisiones de manejo de acuerdo con los objetivos de producción que se planteen. Sin embargo, es una desventaja si las claras se aplican tardíamente debido a la alta probabilidad de mortalidad, al ser expuestos abruptamente los individuos a los fuertes vientos de la zona, característicos del sur de Chile. Esto está condicionado a variables fisiográficas, aumentando la probabilidad de caída de árboles en las zonas de mayor altitud y pendiente, donde los suelos son más delgados y pobres,

determinando un mal anclaje de los individuos. Además los troncos existentes en el suelo es otro elemento que condiciona la calidad del anclaje; mientras mayor es la cantidad de troncos en el suelo mayor es el número de árboles que crecen sobre ellos, aumentando la probabilidad de caída por viento. Este riesgo disminuye con la aplicación temprana de intervenciones y una disminución gradual de las densidades, es decir, con la aplicación oportuna de las claras en forma periódica. Las intervenciones se deben planificar con intensidad variable en función de las variables fisiográficas y de sitio, lo que hoy en día, se facilita en la etapa de planificación con el uso de los sistemas de información geográfica.

Los antecedentes indican que los renovales de la Isla de Chiloé presentan mayores densidades que los continentales para un mismo rango de edad (Tabla 1-2). Esto podría deberse a la mayor capacidad de regeneración natural de la especie en Chiloé, lo que coincide con los altos crecimientos de toda su distribución.

Es frecuente encontrar en renovales jóvenes distribuciones diamétricas de forma exponencial negativa, las que adquieren una forma normal a mayores edades, dependiendo del sitio y de la densidad original. Esto es producto de la mortalidad de individuos y de la ampliación de las clases diamétricas, lo que significa para la población una disminución de la densidad y un aumento del diámetro medio cuadrático. La estructura de edad corresponde a bosques coetáneos con una curva normal; sin embargo la estructura de diámetros es exponencial negativa, lo que indica una baja correlación del DAP con la edad (Figura 1-5).

La evolución de la forma de distribución diamétrica exponencial negativa a una normal es notablemente rápida en las clases mejores de sitio, donde ya a los 32 años se aprecia una estructura de rodal adulta, mientras que en los peores sitios estas mismas formas se alcanzan 20 años después. En los sitios mejores, tempranamente se observan formas de distribución más definidas y con mayor cantidad de árboles; al aumentar la edad los sitios más malos aumentan su cantidad de árboles (al sobrepasar los 5 cm de DAP) y su forma de exponencial negativa,

mientras que en los mejores sitios, comienza a disminuir la cantidad y a ampliarse el rango diamétrico reflejándose así sus mayores tasas de crecimiento (Cerde, 1990).

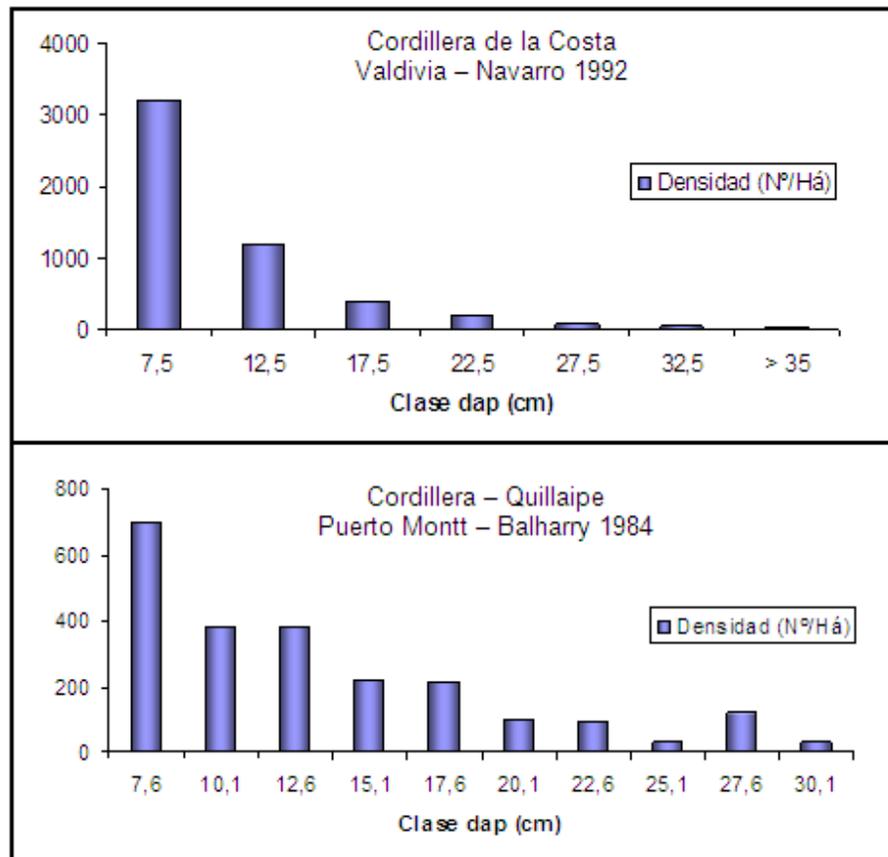


Figura 1-5. Distribución diamétrica de renovales de *D. winteri* en estado de latizal.

Otros autores señalan que la regularidad o normalidad del bosque se logra en forma clara en rodales de 70 a 80 años (Corvalán, 1977; Gunckel, 1980). Esta observación debe referirse a sitios de inferior calidad para la especie. En la Figura 1-5 se observa la forma exponencial negativa de la curva de distribución diamétrica, de un rodal sin manejo en estado de latizal (Navarro, 1993), destacando la participación de *D. winteri*, con 4.459 árb/ha y 29,84 m²/ha de área basal en las clases diamétricas menores a 15 cm, equivalente al 72,04 y 52,31%, respectivamente del total del bosque. La distribución de las especies acompañantes (*Amomyrtus luma* (Molina) D. Legrand & Kausel, *Embothrium coccineum*, *Ovidia pilloillo* (Gay)

Meissner, *Eucryphia cordifolia* Cav. y *Laureliopsis philipiana* (Looser) Schodde, presentaban una curva similar a la del *D. winteri*, pero con una participación muy baja en términos de área basal y densidad, lo que indica la mejor adaptabilidad del *D. winteri* a estas condiciones de sitio. Balharry (1984) encontró para renovales de una edad promedio de 25 a 30 años en la Cordillera de los Andes de Llanquihue, la misma forma de la curva, pero con una menor densidad en las clases diamétricas menores y un comienzo del aplanamiento de la curva, producto de las mejores condiciones de sitio que la zona costera de Valdivia.

Conocer la dinámica de la estructura diamétrica de un rodal, sugiere la pauta de manejo que se debe aplicar. En términos generales y dependiendo de los objetivos de producción, en los mejores sitios es posible intervenir más fuertemente y/o con mayor periodicidad que en sitios de menor calidad.

1.3.2 Sitio.

Las características dasométricas de los renovales varían con el sitio o estación forestal, el tipo o asociación vegetal del que forman parte y el estado de desarrollo. Para *D. winteri* en la Región de los Lagos, se definieron 6 clases de sitio a una edad cercana a la rotación (35 años), encontrándose que la clase inferior de sitio está presente en el continente, mientras que la clase de sitio superior se encuentra presente preferentemente en la zona insular. Sin embargo, en ambas zonas es posible encontrar todas las clases de sitio, siendo más frecuentes las clase de sitio 3 y la clase 4 en el continente (Calquín, 1986).

La clase de sitio I (estación forestal clase I), son originados de ceniza volcánica, medianamente profundos y de buen drenaje (Figura 1-6).

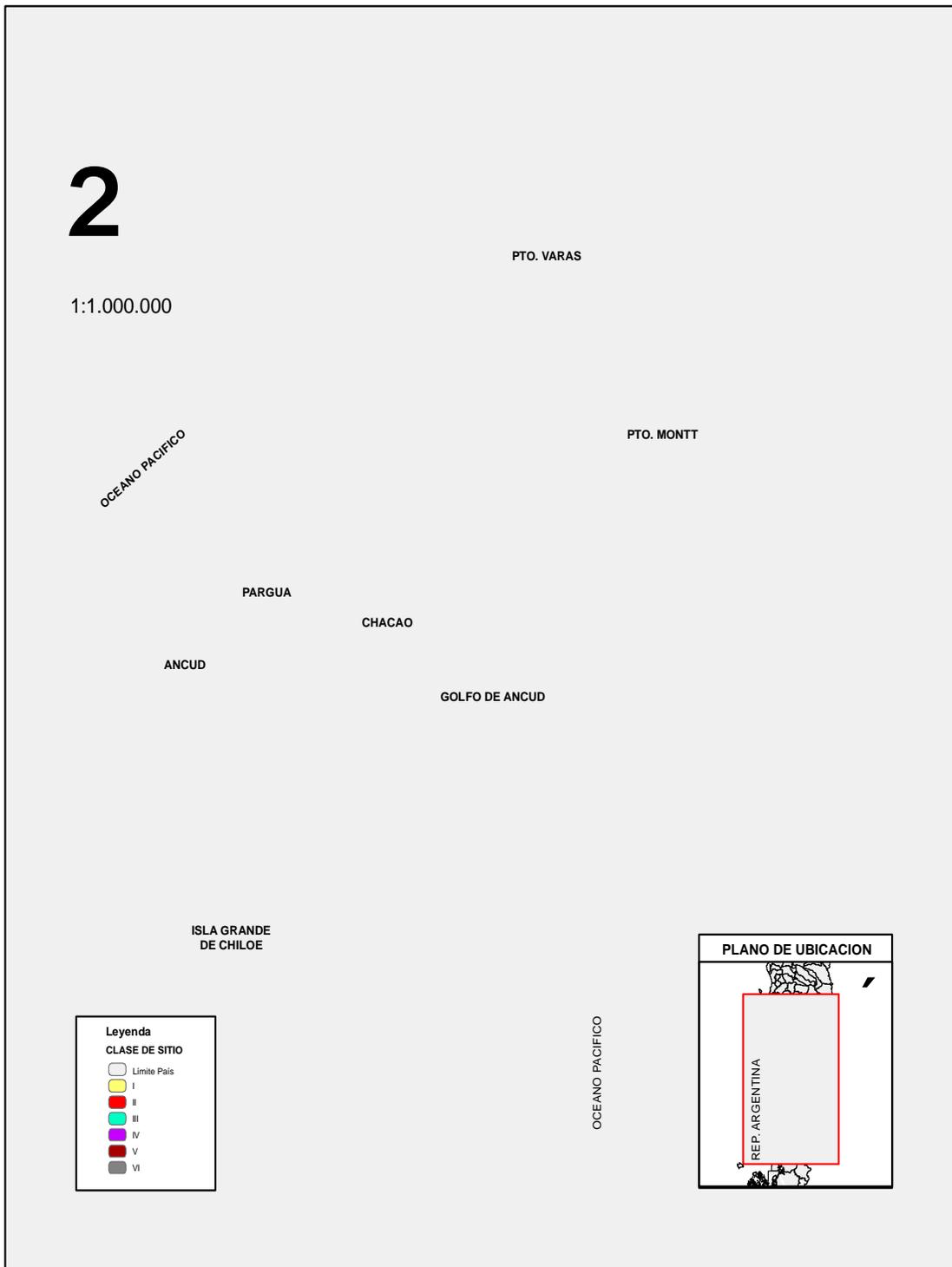


Figura 1-6. Mapa ubicación clases de sitio según CALQUÍN.

La clase de sitio II, se caracteriza por terrenos planos, de mal drenaje y con problemas de aireación, debido a la presencia de una banda de fragipanes derivada de acumulación de ciertos elementos sobre el sustrato de areniscas y a la existencia de napas freáticas permanentes superficiales. Sin embargo, es posible encontrar áreas dentro de esta serie de suelo que presentan buen drenaje y en general mejores condiciones de sitio para el desarrollo de la vegetación (Figura 1-6).

La clase de sitio III, corresponden a zonas planas, con altitudes de 40 a 220 m.s.n.m. y suelos muy variables. Se caracterizan por ser terrenos planos a ondulados y escasamente quebrados, con suelos bien drenados a imperfectamente drenados, originados de cenizas volcánicas; sin embargo se encuentran en distinto grado de empobrecimiento por el manejo deficiente y uso intensivo (Figura 1-6).

La clase de sitio IV se presentan en altitudes de 40 a 180 m.s.n.m. de topografía plana y con drenajes buenos a imperfectos y abarcan completamente el rango de exposiciones (Figura 1-6).

La clase de sitio V presentan una gran variedad de suelos, desde trumaos muy empobrecidos a suelos Ñadis. Corresponden a altitudes que van desde los 50 a 180 m.s.n.m. abarcan todo el rango de exposiciones y poseen drenajes buenos a pobres (Figura 1-6).

La clase de sitio VI, se presentan preferentemente en terrenos planos en altitudes que varían de 85 a 440 m.s.n.m. Se caracterizan por presentar un duripan muy próximo a la superficie, de tal forma que la profundidad efectiva es pequeña, el drenaje es muy pobre, y el escurrimiento lento, lo que produce que los suelos estén casi todo el año sobresaturados de agua (Figura 1-6).

En general las variables ambientales que explican las diferencias de sitio, son el drenaje, exposición local y pendiente local. El drenaje resultó ser la más relacionada con el índice de sitio (o índice de calidad de estación), presentando los sectores Ñadis el índice de sitio más bajo, debido a los suelos más delgados, planos y constantemente anegados, lo cual dificulta seriamente el desarrollo de la

vegetación. Los índices de sitio más altos se asocian a suelos tipo trumao, profundos y bien drenados (Calquín, 1986).

Otros factores ambientales que definen productividades en renovales de *D. winteri* son en orden de importancia: altitud, pendiente, espesor del horizonte orgánico, forma de la pendiente y exposición. La altitud y la pendiente son los factores ambientales que tienen mayor relación con la producción y productividad. En general, la producción y productividad aumentan al disminuir la altitud; lo mismo sucede, pero a nivel local, con la pendiente, encontrándose que en bajos de ladera y fondos de quebrada, se encuentra mayor producción y productividad que en los situados en media ladera (Balharry, 1984). Esto puede estar relacionado con adecuados regímenes de humedad para la especie y el efecto moderado del viento, lo que implica una menor tasa de transpiración.

La plasticidad de la especie se evidencia en el amplio rango de alturas dominantes y productividades que alcanza y en la gran variabilidad de sitios donde se desarrolla, lo cual ha sido investigado por distintos autores (Gunckel, 1980; Corvalán, 1987; Balharry, 1984; Calquín, 1986; Sánchez, 1986; Hernández, 1992; Millanao, 1984). Esta alta variabilidad indica la necesidad de aplicar tratamientos de manejo distintos y diferentes objetivos de producción para cada zona. Por ejemplo, las clases de sitio V y VI pueden tener objetivos de producción de material pulpable o dendroenergético y protección del sitio, y las clases de sitios I, II y III, objetivos de producción de madera de mejor calidad como madera aserrada y chapas. Estas consideraciones sin embargo están sujetas a volúmenes y calidad de la madera exigida por proyectos que se concentren en esta especie y a los intereses de los propietarios (Tabla 1-3).

Tabla 1-3. Informaciones de crecimiento de *D. winteri*.

Ubicación	Edad (años)	Diámetro medio (cm)	Diámetro medio cuadrático (cm)	Variables de estado	Diámetro (cm)	Volumen (m ³ /ha)	Altura (m)	Sitio según Calquín (1990)	Fuente
C. Costa Valdivia	30-100	-	-	2.000-3500 árb/ha	0,36	0,33	2,93-4,60	5	Gunkel, 1980
C. Costa Valdivia	30	-	9,13-12,44	3.784-8.451 árb/ha 44.46-74.16 m ² /ha 288-453 m ³ /ha 11.70-13.46 m(Ht)	0,33	0,41	10,30	3	Navarro, 1992
C. Sarao	10-80	-	-	-	-	0,30-0,60	8,60- 17,90	3	Ing. De Bosques (1975)
Chiloé	-	10-50	-	-	0,56-0,68	-	-	2	Corvalán, 1977
Isla de Chiloé	20-80	-	-	-	0,30-0,60	-	7,80-13,80	3	Ing. De Bosques (1975)
Isla de Chiloé	20-30	-	-	10.625-12.676 árb/ha Rodales Jóvenes G=63.71 m ² /ha 7.940-7.950 árb/ha Rodales desarrollados G=86.92 m ² /ha	0,82	0,64	-	2	Sánchez, 1986

Fuente: Navarro *et al.* (1999)

1.3.3 Antecedentes dasométricos.

Diversos estudios realizados en rodales de *D. winteri*, han demostrado que es una especie de rápido crecimiento en comparación con otras especies. Destacando que existen diferencias importantes en productividad entre sitios donde se desarrolla la especie, relevando la aptitud para diversos objetivos de producción y tecnologías silvícolas diferenciadas.

El área basal es un parámetro de densidad de gran importancia. Su determinación involucra dos variables básicas que son el diámetro medio cuadrático y el número de árboles por unidad de superficie y permite determinar el desarrollo y productividad de un sitio en el tiempo (Vera, 1985). Las respuestas en crecimiento de esta variable en los tratamientos de raleo, quedan determinadas por la densidad residual. Como las respuestas en crecimiento diametral son similares en los tratamientos de mayor intensidad, el incremento en área basal neta lo define el número de árboles residual de las intervenciones.

Al aplicarse claras tardías se espera una reacción fuerte de los árboles residuales pero de corta duración.

Se podría esperar que las altas tasas se mantengan por más tiempo en claras más intensas, debido a la menor competencia. En claras tardías es necesario mantener una cantidad de área basal en crecimiento, que evite mortalidad por competencia durante ese periodo, y que permita de esta forma igualar los incrementos brutos y netos entre periodos de intervención.

D. winteri, presenta un rápido crecimiento inicial, el que se manifiesta hasta los 25 años aproximadamente, para luego disminuir (Calquín, 1986; Tapia de la Puente 1982), pudiendo alcanzar 29 metros, siendo lo más esperable encontrara alturas de 4 a 19 metros.

Las edades en que se producen los mayores crecimientos anuales periódicos en diámetro indican la necesidad de intervenir un bosque secundario puro oportunamente, ya que sobre esta edad los crecimientos disminuyen, reflejando la incapacidad del sitio para abastecer de nutrientes en cantidad suficiente a lo demandado por el bosque; y a su vez la alta densidad existente aminora el espacio y luz necesaria para que los individuos mejor dotados genéticamente puedan desarrollar su máximo. Navarro (1993) determinó para la Cordillera de la Costa de Valdivia, un crecimiento promedio anual de 0,54 cm y un crecimiento anual periódico máximo de 0,92 cm a los 12 años.

Es importante recordar que la competencia se produce cuando un recurso demandado por los individuos se torna escaso, lo que significa que en sitios de mejor calidad se producirá tempranamente una diferenciación de doseles, producto de la mayor velocidad de crecimiento en altura y al mismo tiempo, de diámetro, lo que significará una mayor mortalidad, en comparación con sitios de inferior calidad. Esto indica que en sitios buenos se deben aplicar tempranamente las cortas intermedias, principalmente claras: por ejemplo en Chiloé, en sitios I a los 6 años y en la Costa de Valdivia en sitio III a los 12 años, (Tabla 1-4).

Tabla 1-4. Comparación de crecimiento en diámetro (CAP) según edad.

Edad	Sánchez (1986) Isla Chiloé	Gunckel (1980) Costa-Valdivia	Navarro (1992) Costa- Valdivia
6	1,74		0,38
12	0,91	0,47	0,92
18	0,66	0,40	0,59
24	0,49	0,37	0,37

Las características dasométricas de los renovales varían con el sitio, el tipo o asociación vegetal del que forman parte y el estado de desarrollo. Para *D. winteri* en la Región de los Ríos se definieron 6 clases de sitio a una edad cercana a la rotación (35 años), encontrándose que la clase inferior de sitio está presente en el continente, mientras que la clase de sitio superior se encuentra presente preferentemente en la zona insular. Sin embargo, en ambas zonas es posible

encontrar todas las clases de sitio, siendo más frecuentes las clase de sitio 3 y la clase 4 en el continente (Calquín, 1986) (Tabla 1-5).

Con respecto al volumen, existen varios estudios de claras que indican importantes ganancias en crecimiento bruto como respuesta a esta intervención, duplicándolo respecto de bosques sin manejo (Navarro *et al.* 1997; Reyes *et al.* 2009).

Tabla 1-5. Altura, productividad, producción y crecimiento medio anual en altura según clase de sitio para *D. winteri* en la Región de Los Lagos a los 35 años edad.

Clase de sitio	Altura (35 años) metros	Productividad (m ³ /ha año)	Producción (m ³ /ha)	Crecimiento medio anual (m)
I	22	16,6	580	0,63
II	19	14,3	500	0,55
III	16	10,1	355	0,47
IV	13	6,3	220	0,39
V	10	3,1	110	0,30
VI	7	1,1	40	0,21

1.4 Experiencias en tratamientos silviculturales y manejo forestal.

La actividad de manejo que adquiere mayor importancia en los renovales de *D. winteri* son las cortas intermedias. De estas cortas (limpias, liberación, corta de mejoramiento y claras), las claras adquieren mayor importancia debido al estado actual de desarrollo que tienen los renovales. Las claras, como actividad silvicultural pretende favorecer el incremento de los mejores individuos que llegarán a la cosecha final, reduciendo el número de árboles por hectárea existente, redistribuyendo el potencial de crecimiento y mejorando la calidad del bosque residual. Los renovales de *D. winteri* presentan situaciones en que la especie participa en un 90% de los individuos y en otros en un 50% o menos; lo cual produce una oferta interesante de posibilidades de especies a dejar para el silvicultor.

Experiencias silviculturales realizadas por La Universidad Austral de Chile en la cordillera de la Costa de Valdivia, experimentaron tratamientos de claras "por lo bajo", probando tres intensidades: a dos metros, tres metros y cuatro metros de distanciamiento entre árboles, y un tratamiento de clara de liberación. Los renovales correspondían a bosques puros, donde *D. winteri* aporta el 80,83% del número de árboles por hectárea, 80,99% del área basal y 85,47% del volumen total por hectárea. El total de especies resultó con una densidad media de 6.134 árb/ha, con valores extremos de 3.784 y 8.451 árb/ha, donde *D. winteri* participa en promedio con 4.985 árb/ha y un rango de 2.850 a 7.501 árb/ha. El área basal total promedio, alcanza a 56,65 m²/ha, aportando el *D. winteri* 46,13 m²/ha; y en términos de volumen se observó una cifra de 351 m³/ha/año, de los cuales 300 m³/ha corresponden a *D. winteri*. La edad promedio del renoval al momento de establecerse el ensayo era de 30 años. Las productividades promedios alcanzan a 1,65 m²/ha/año y 10 m³/ha/año, lo cual corresponde a la clase de sitio 3, de acuerdo con la clasificación de Calquín (1986). El 30% de los árboles y el 37% del área basal del renoval corresponden a calidad 1; el 80% de los árboles y el 90% del área basal de calidad 1 pertenecen a *D. winteri*.

Las distintas intervenciones tienen características de unas claras mixtas o claras por lo bajo con tres grados (1, 2, 3) según lo planteado por (Nyland Ralph, 2002), dado que se extrajeron árboles de todas las clases diamétricas, pero principalmente árboles de las clases diamétricas menores, lo que produjo un aumento en el diámetro medio cuadrático del bosque residual, y la liberación de las copas de los árboles del dosel superior. Quedaron en pie principalmente árboles de *D. winteri* del dosel superior y de buena calidad. Los porcentajes de extracción en número de árboles para los tratamientos con distanciamientos a 2 m, 3 m, 4 m, alcanzan a 64,39; 80,73 y 88,69%, respectivamente; mientras que el raleo de liberación (R) alcanzó una cifra de 89,12%, similar al raleo a 4 m.

Como respuesta al tratamiento de clara se produjo un aumento de diámetro medio cuadrático después de la intervención. La mayor variación del DMC, se debió a la

intensidad de la clara, siendo mayor en los tratamientos de mayor intensidad (Tabla 1-6).

Tabla 1-6. Diámetro medio cuadrático y crecimiento diametral de renovales de *D. winteri* por tratamiento, ensayo de clara Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile.

Tratamiento	DMC 1996		Crecimiento anual periódico (Total - cm)		
	<i>D. winteri</i>	Total	1986-90	1990-96	1986-96
2m	16,20	16,68 ± 1,56	0,26	0,34	0,31
3m	20,99	20,81 ± 1,84	0,69	0,46	0,55
4m	21,10	20,80 ± 2,02	0,80	0,44	0,57
R.	21,70	21,70 ± 0,70	0,65	0,46	0,54
T.	12,83	12,82 ± 1,10	0,25	0,19	0,21

Los tratamientos de mayor intensidad produjeron mayores tasas de crecimiento diametral, permitiendo que los árboles expresen su potencial de crecimiento al eliminar fuertemente la competencia. Y las tasas de crecimiento en área basal neta aumentaron a medida que se intervino con mayor intensidad. El tratamiento de clara a 3 m experimentó una disminución bruta alta, producto de la mortalidad por viento; sin embargo, presenta un alto valor de incremento bruto, lo que indica una mejor ocupación de sitio y altas tasas de crecimiento en diámetro, similares al tratamiento de raleo a 4 metros (Tabla 1-7).

Tabla 1-7. Niveles de extracción en área basal y respuesta en crecimiento del área basal por tratamiento de clara, Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile.

Tratamiento	Extracción (%)		Crecimiento (m ² /ha año)	
	1985 - 86	1986 - 90	1990 - 96	1986 - 96
2 m	41,57	0,69 (2,5)	1,56 (3,6)	1,19 (2,9)
3 m	64,66	0,58 (2,9)	1,16 (4,6)	0,93 (3,8)
4 m	77,00	0,86 (7,8)	0,62 (3,9)	0,72 (5,1)
R.L.	73,18	1,35 (7,1)	0,89 (3,6)	1,08 (5,0)
T.	0,00	1,27 (2,0)	0,24 (0,4)	0,36 (0,6)

Las tasas de crecimiento de las claras de mayor intensidad, si bien son altas, tienen poca duración, La reacción es fuerte, pero durante un corto período, lo que es

consecuencia de la aplicación de claras tardías. Se podría esperar que las altas tasas se mantengan por más tiempo en claras más intensas, debido a la menor competencia. Esta hipótesis se observa generalmente en renovales jóvenes, cuando las claras se aplican oportunamente (Navarro *et al.* 1997).

Los raleos (claras) aplicados presentan altos niveles de extracción en volumen, con cifras extremas de 46,9 y 78,1%, para los tratamientos de raleo a 2 y 4 metros de distanciamiento entre árboles, respectivamente (Tabla 1-8). Las tendencias observadas en área basal, son similares a la reacción en volumen neto. Se produce para *D. winteri* una disminución importante en las tasas de crecimiento después del cuarto año de aplicadas las claras en todos los tratamientos a excepción de la clara a 3 m que experimentó una tasa de crecimiento creciente debido a las pérdidas de volumen por viento detectadas en la primera evaluación.

Tabla 1-8. Rendimiento en volumen, niveles de extracción y respuesta en crecimiento de renovales de *D. winteri*, por tratamiento de clara en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile.

Tratamiento	Volumen 1985 30 años m ³ /ha	Volumen 1986		Volumen 1990		Volumen 1996 <i>D. winteri</i>	Extracción (%) 1985- 86	Crecimiento neto <i>D. winteri</i> (m ³ /ha año)		
		<i>D. winteri</i>	Total	<i>D. winteri</i>	Total			1986 a 1990	1990 a 1996	1986 a 1996
2 m	395,81	18.111	216,7	229	254,6	263,5	46,9	10,05 (4,9)	5,80 (2,4)	7,50 (3,4)
3 m	361,04	125,2	126,7	142,8	145	186,5	64,95	4,40 (3,3)	7,30 (4,6)	6,10 (4,1)
4 m	309,07	65,8	68	87,1	89,1	115,5	78,12	5,30 (7,3)	4,70 (4,8)	4,97 (5,8)
R.L.	405,05	107,32	107,3	141,8	141,8	179,3	73,5	8,60 (7,2)	6,30 (4,0)	7,19 (5,3)
T.	383,26	328,85	383,3	362,2	410,8	-	0	8,32 (2,4)	-	-

La regeneración observada en los tratamientos determinó que la clara a 3 m presentó la mayor densidad de plantas, con 57.292 plantas/ha, le siguen la clara a 2

m con 41.143 plantas/ha, la clara a 4 m con 38.438 plantas/ha y en último lugar el testigo con 28.021 plantas/ha. Se encontraron altos valores de desviación estándar, lo que indica una alta variabilidad de la regeneración. La especie *A. luma* y *Laureliopsis philippiana* (Looser) Schodde. son las más abundantes en todos los tratamientos. Junto a *E. coccineum* y *E. cordifolia*, éstas constituyen las especies más interesantes desde el punto de vista maderable; presentan los mayores crecimientos y buena calidad. La regeneración de *D. winteri* es escasa a nula. Los tratamientos de menor intensidad de raleo favorecen a las especies tolerantes; y los más intensos a las intolerantes. La sobrevivencia y calidad de la regeneración establecida en los tratamientos no está garantizada, y ésta debe sufrir los efectos de la competencia y selección natural. Sin embargo, como el cierre de copas en este tipo de renovales es lento y no total, y las especies establecidas de interés económico actual son tolerantes, a excepción de *Embothrium coccineum*, se espera un futuro promisorio para ellas. (Navarro *et al.* 1999).

Es factible en estos bosques proyectar el manejo a dos o tres especies pioneras en un primer cielo de corta, y manejar un segundo dosel de tolerantes para el segundo ciclo. Estos renovales de *D. winteri* responden muy bien al manejo; al respecto Hernández (1992) para un renoval de *D. winteri* ubicado en Chiloé llegan a una tasa interna de retorno de 15 % con una rotación de 45 años y un crecimiento medio anual de volumen en este periodo de 18 m³/ha/año, aplicando tres claras en el período. Al respecto, Reyes *et al.* (2009) indica como no recomendable aplicar claras fuertes en estos renovales y sugiere mantener niveles de densidad relativa de 30% como mínimo.

Como una alternativa para el manejo forestal en que el silvicultor pueda predecir rendimientos futuros, se presenta como una útil alternativa aplicar en las decisiones de intensidades de raleo la densidad relativa (DR), que corresponde a la razón entre el número de árboles existentes en un rodal y el número máximo que se podría encontrar para el mismo tamaño promedio de los árboles. Una de las ventajas de estos índices es su interpretación biológica: una DR mayor o igual a 40% para algunos rodales de densidad completa, significa a que la capacidad productiva del

sitio está siendo usada completamente; una DR mayor a 55% indica que la tasa de crecimiento en volumen neto o área basal, declina debido a la mortalidad por competencia; y un DR menor a 40% significa que el rodal no está utilizando la capacidad productiva del sitio. Es recomendable manejar los rodales cuando el IDR se encuentra entre 15% y 40%, aun cuando se sacrifique crecimiento por unidad de área (Drew and Flewelling, 1979).

Diversos autores como Reineke, (1933); Nyland Ralph, (2002); Long (2004), han mencionado que las relaciones de tamaño densidad de son un elemento importante de ecología de poblaciones de rodales coetáneos. Al respecto, Donoso *et al.* (2007) concluyen que la relación tamaño densidad para los renovales de *D. winteri* es independiente de la composición de especies y demuestran que estas relaciones no siguen la pendiente universal atribuida a la disminución en el número de árboles con el incremento en el diámetro medio, además concluyen que la relación tamaño densidad en bosques de segundo crecimiento *D. winteri* es independiente del sitio.

1.5 Objetivos de la investigación.

1.5.1 Objetivo general.

Desarrollar aspectos silviculturales y estrategias de gestión sostenible en bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* en Chile, como base para un manejo forestal sustentable.

1.5.2 Objetivos específicos.

1. Sistematizar y analizar los antecedentes de ecología, de estructura dasométrica, silvícola y de gestión, como base para la ordenación forestal.
2. Determinar y caracterizar a nivel exploratorio unidades potenciales de gestión silvícola sobre la base de la productividad de los sitios (estaciones forestales), los requerimientos ecológicos de la especie y homogeneidad de los rodales.
3. Evaluar ensayos de claras y determinar la tecnología silvícola aplicable para distintos objetivos de producción.
4. Evaluar la rentabilidad de opciones silvícolas para distintos objetivos de producción, sobre la base de los ensayos de claras realizados en Chile.
5. Desarrollar y aplicar un diagrama de manejo de la densidad en renovales de *D. winteri* como herramienta de gestión silvícola.

1.6 Referencias.

- Appel, I. (1993).** Evaluación de la regeneración en renovales de Canelo (*Drimys winteri* J. R. Forst. & G. Forst.) sometidos a diferentes niveles de intervención, en la Cordillera de la Costa, provincia de Valdivia. Tesis. Facultad de Ciencias forestales, Universidad Austral de Chile.
- Armesto, J., Rozzi, R., Miranda, P. y Sabag, C. (1987).** Interacciones planta-frugívoro en bosques templados de Sudamérica", revista chilena de historia natural 60: 321-336.
- Ballhary, C. (1984).** Estudio de la estructura y composición de renovales de Canelo (*Drimys winteri* J. R. Forst. & G. Forst.) en el fundo Llenca (Décima región). Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.
- Barrero, A. F., Herrador, M., Arteaga, P., Lara A. y Cortés, M. (2000).** Chemical composition of the essential oil from *Drimys winteri* J. R. Forst. & G. Forst. wood. J. Essent. Oil. Res 12: 685-688.
- Botti, C.y Cabello, A. (1984).** Estudio morfoanatómico de flores, frutos y semillas de Canelo. Santiago, Chile. Ciencias forestales 5 (1): 31-42.

- Bustos, C., Guzmán, M. y Hernández, G. (2005).** Trabajabilidad y opciones productivas de la madera de Canelo. Actas en CD del X Reunión de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales y la International Academy of Wood Science Meeting. 2005. Del 14 al 17 Noviembre. Concepción, Chile.
- Calquin, R. (1986).** Índices y clases de sitio para Canelo (*Drimys winteri* J. R. Forst. & G. Forst.) en la Décima Región. Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.
- Cechinel, V., Schlemper, V., Santos, A., Pinheiro, T., Yunes, R., Mendes, G., Calixto, J. y Monache, F. (1998).** Isolation and identification of active compounds from *Drimys winteri* barks. J. Ethnopharmacol. 62: 223 - 227.
- Cerda, J. (1990).** "Modelos de distribución diamétrica en rodales de Canelo (*Drimys winteri* J. R. Forst. & G. Forst.) Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.
- CONAF-CONAMA-BIRF (Corporación Nacional Forestal-Comisión Nacional del Medio Ambiente-BIRF). (1999).** Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Nacional con Variables Ambientales.
- Cortés, M., Urrejola, R. y Oyarzun, M. L. (1982).** Metabolitos secundarios de la corteza de *Drimys winteri* J. R. Forst. & G. Forst. Bol. Soc. Chil. Quím. 27 (2): 307-309.
- Cortés, M, Oyarzun, M. L. (1981).** Tadeonal and isotadeonal from *Drimys winteri*. Fitoterapia 52: 33-35.
- Corvalán, P.(1988).** Una alternativa de desarrollo forestal para la décima región: el Canelo. Creces 88. 9 (5): 18-22.

- Corvalán, P., Gouet, R., Reyes, C. (1998).** Modelo geoestadístico para estimaciones espaciales y su aplicación al manejo sustentable de plantaciones de pino insigne actas primer congreso latinoamericano IUFRO. El Manejo Sustentable de los Recursos Forestales, Desafíos del Siglo XXI. Valdivia, Chile.
- Corvalán, P. (1977).** Estudio preliminar de crecimiento en algunos renovales de la Isla grande de Chiloé. Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.
- Corvalán, P. (1987).** El Canelo: una alternativa de desarrollo para la Décima Región. Proyecto. Santiago, Ministerio de Agricultura, Universidad de Chile, vol. I, II y III.
- Corvalán, P., Jiménez P., Araya, L. (1986).** Revisión bibliográfica: El Canelo, una alternativa de desarrollo para la Décima Región". Santiago, Ministerio de Agricultura, Universidad de Chile.
- Chesney, L. (1970).** Aptitud papelera del Canelo (*Drimys winteri* J. R. Forst. & G. Forst.). Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago, 1970.
- Daniel, T., Helms, J. y F. Baker. (1982).** Principios de silvicultura. Mc Graw-Hill co. Inc., México.
- Díaz-Vaz, J. E., Devlieger, F., Poblete, H., Juacida, R. (1986).** *Maderas comerciales de Chile*. Colección Naturaleza de Chile. CONAF. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile, V. 4, 70 p.
- Donoso, C. (2006).** Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones. 678 p.

Donoso, P., Soto, D., Bertin, R. (2007). Size-density relationships in *Drimys winteri* secondary forests of the Chiloe Island, Chile: Effects of physiography and species composition. Forest Ecology and Management. In press.

Donoso, C. (1978). Dendrología. Árboles y arbustos chilenos. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias forestales, Departamento de Silvicultura. Manual N°2, Santiago, Chile. 70 págs.

Donoso, C. (1981). Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Documento de trabajo N°38. Investigación y Desarrollo Forestal (CONAF, PNUD-FAO), Santiago.

Donoso, C. (1989). Antecedentes básicos para la del tipo forestal siempreverde, Bosque 10: 37-53.

Donoso, C. (1993). Ecología forestal. Bosques templados de Chile y Argentina, variación, estructura y dinámica. Editorial universitaria, Santiago.

Donoso, C. (1996). Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación Estructura y Dinámica. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 483p.

Donoso, C., Cabello, A. (1978). Antecedentes fenológicos y de germinación de especies leñosas chilenas. Ciencias forestales (2): 31-41.

Donoso, C., Escobar, B., Cortés, M. (1984). Regeneración en bosques de la Cordillera de la Costa, Décima Región, IV parte. Evaluación de producción de semillas y hojarasca en bosques no intervenidos de los tipos forestales siempreverde y Alerce y en rodales intervenidos del tipo forestal siempreverde y evaluación de la regeneración en parcelas intervenidas de Alerce. Informe de convenio N° 72, CONAF/UACH.

Donoso, C., Escobar, B., Donoso, P., González, M., Zuñiga A. (1995). Informe de proyecto: "Germinación de semillas y técnicas de vivero y plantación para las especies de los tipos forestales de la Décima Región".

Donoso, C., Hernández, M., Navarro, C. (1993). Valores de producción de semillas y hojarasca en bosques siempreverdes de la Cordillera de la Costa. Bosque 14 (2): 65-84.

Drew, T.J., Flewelling, J.W. (1979) . Stand Density Management: An alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. Forest Science, vol. 25, n° 3: 518-532.

El-Sayah, M., Cechinel, V., Yunes, R., Pinheiro, T., Calixto, J. (1998). Action of poligodial, a sesquiterpene isolated from *Drimys winteri*, in the guinea-pig ileum and trachea 'in vitro'. Europ. J. Pharmacol 344: 215-221.

Emanuelli, P., Milla, F. (2006). Alternativas de Productos Madereros del Bosque Nativo Chileno. Primera edición. Proyecto conservación y manejo sustentable del bosque nativo CONAF-KFW-GTZ-DED. 161p.

Fernández, J. (1985). Propagación vegetativa y germinativa de *Drimys winteri*, J.R. Foster. Tesis. Facultad de Ciencias forestales, Universidad Austral de Chile.

Gunckel, G. (1980). Estudio de desarrollo y rendimiento de renovales de Canelo en el sector de Corral, Cordillera de la Costa, Provincia de Valdivia. Tesis Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia.

Hernández, M. (1992). Análisis de la variación de dos poblaciones contiguas de *Drimys winteri* Forst. en la Precordillera Andina de la VIII Región. Tesis Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.

INFOR (Instituto Forestal). (2004). Estudio de mercado para madera de Canelo en Estados Unidos y Europa. Informe técnico N° 167. INFOR/ CORFO. Santiago, Chile.

Linetzky, A. (1940). Determinación del ácido ascórbico en la corteza del Canelo (*Drimys winteri* Forst.) en la Décima Región. Tesis de químico farmacéutico, Facultad de Biología y Ciencias Médicas, Universidad de Chile.

- Loewe, V. (1987).** Evaluación de la regeneración natural de Canelo (*Drimys winteri* Forst.) en la Décima Región. Tesis, Universidad de Chile.
- Loewe, V., Toral, M., Mery, A., López, C., Urquieta, E. (1997).** Potencialidad especies y sitios para una diversificación silvícola nacional: monografía Canelo (*Drimys winteri*). FIA/CONAF/INFOR. Santiago, Chile.
- Long, J. (2004).** A density management diagram for even-aged ponderosa pine stands. *West. Journal of Applied Forestry* 20(4): 205–215.
- Lusk, C. (1995).** Seed size, establishment sites and species coexistence in a Chilean rain forest. *Journal of Vegetation Science* 6: 249-256.
- Malheiros, A., Cechinel, V., Schmitt, C., Santos, A., Scheidt, C., Calixto, J., Monache, F., Yunes, R. (2001).** A esquiterpene drimane with antinociceptive activity from *Drimys winteri* bark. *Phytochemistry* 57: 103-107.
- Millanao, D. (1984).** Diferenciación genecológica de dos poblaciones de *Drimys winteri* Forst. (Novena y Décima Regiones, Chile). Tesis, Instituto de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.
- Montes, M y Wilkomirsky, T. (1980).** Plantas chilenas en medicina popular, ciencia y folklore. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Montes, M y Wilkomirsky, T. (1985).** Medicina tradicional chilena. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Morales, L y García, C. (2000).** Metodología para la evaluación del potencial insecticida de especies forestales. *Rev. Fac. AC. Agron. Medellín.* 53 (1): 787-800.
- Muñoz, O., Montes, M. y Wilkomirsky, T. (1999).** Plantas medicinales de uso en Chile: química y farmacología. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.

- Muñoz-Concha, D., Vogel, H., Razmilic, I. (2004).** Variación de compuestos químicos en hojas de poblaciones de *Drimys spp.* (Magnoliophyta: Winteraceae) en Chile. Rev. Chil. Hist. Nat. 77: 43-50.
- Navarro, C. (1993).** "Estudio de raleo renovales de Canelo, sector Hueicolla, Cordillera de la Costa de Valdivia. Instalación y evaluación del ensayo". Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.
- Navarro, C; Donoso, C; Sandoval, V. (1999).** Los Renovales de Canelo. In: Donoso, C; A. Lara (eds.).Capítulo 11 En Libro: Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Santiago, Universitaria. pp 129-144.
- Navarro, C., Donoso, C., Sandoval,V., González, C. (1997).** Evaluación de raleos en renovales de Canelo (*Drimys winteri* Forst.) en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile. Bosque 18(2): 51-67.
- Niebuhr, S. (1988).** Determinación de una función de rendimiento para renovales de Canelo (*Drimys winteri* Forst.) en la Décima Región. Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile.
- Nyland Ralph, D. (1996).** Silviculture Concepts and Applications, the McGraw- Hill companies, Inc, Singapore.
- Nyland Ralph, D. (2002).** Silviculture Concepts and Applications. Second edition. McGraw-Hill. New York, New York. 682 p.
- Oyarzún, M. (1983).** Metabolitos secundarios de corteza de *Drimys winteri* Forst. Síntesis parcial de sesquiterpenos relacionados con (-) - Warburganal. Tesis, Magíster en Ciencias Mención en Química. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Pacheco, P., Chiang, M. T., Marticorena, C., Silva, M. (1977).** Química de las plantas chilenas usadas en medicina popular I. Instituto Central de Biología,

Departamento de Botánica. Laboratorio de Química de Productos Naturales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile, p. 215-216.

Pérez, P., Ananías, R.A., Hernández, G. (2007). Estudio experimental del secado de renovales de Canelo. *Maderas. Ciencia y tecnología* 9(1):59-70.

Pérez, V. (1983). "Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas". CONAF/PNUD/FAO/CHI/76/003. Documento de trabajo N° 47.

Reineke, L.H. (1933). "Perfecting a Stand Density Index for Even Aged Forests". *Journal of Agricultural Research*.

Reyes, R., Donoso, P., Donoso, C., Navarro, C. (2009). Crecimiento de renovales de *Drimys winteri* después de 16 años de aplicados distintos tratamientos de raleo en las cordilleras de Los Andes y de la Costa en Chile. *Bosque* 30(3): 117-126.

Rodríguez, B., Zapata, N., Medina, P., Viñuela, E. (2005). Spectral assignments and referente data. A complete 1H and 13 CNMR data assignment for four drimane sesquiterpenoids isolated from *Drimys winteri*. *Magn. Reson. Chem.* 43: 82-84.

Rodríguez, R. y Quezada, M. (1991). Nueva combinación en *Drimys* J. R. y G. Forster (*Winteracea*) de Chile. *Gayana Bot.* 48 (1-4): 111-114.

Rojas, M., Pistono, L., Bluhms, E. (1975). Densidad, largo de fibra y composición química de la madera de Canelo. Informe técnico 53. INFOR.

Sabja, A. (1980). Métodos de propagación de algunas especies leñosas chilenas con posibilidades ornamentales". Tesis, Facultad de Ciencias forestales, Universidad de Chile.

- Sánchez, C. (1986).** Estructura y desarrollo de renovales puros y no intervenidos de Canelo (*Drimys winteri* J. et G. Forst.) en la Isla de Chiloé. Tesis, Facultad de Ciencias forestales, Universidad Austral de Chile.
- Tapia de la Puente, R. (1982).** Variabilidad estructural de renovales no intervenidos de Canelo en la reserva Forestal de Valdivia, Tesis Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia.
- Torres, R., Pardo, F., Velasco, M. (1992).** Flavonoid from *Drimys winteri*. Fitoterapia LXIII (6): 553.
- Urzúa, D. y Poblete, H. (1980).** Factibilidad técnica de la producción de tableros de partículas utilizando especies que crecen en los terrenos Ñadi. Informe de convenio Nº 29. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.
- Vera, O. (1985).** Evaluación de intervenciones silvícolas en un renoval mixto de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl) Krasser) y Coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb). Oerst) ubicado en la Reserva forestal Coyhaique, XI Región, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.

1.7 Anexos.



Figura 1-7. Paisaje del Tipo Forestal Alerce donde se desarrolla *D.winteri*.



Figura 1-8. Paisaje del Tipo Forestal Siempre Verde donde se desarrolla Canelo.



Figura 1-9. Regeneración de Tepa en bosques de *D. winteri*.



Figura 1-10. Sitios donde se establece *D.winteri*,



Figura 1-11. Regeneración de *D.winteri*.



Figura 1-12. Bosque manejado de *D.winteri*



Figura 1-13. Anclaje de árbol de *D.winteri*.



Figura 1-14. Bosques no manejados de *D. winteri*.

**ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN ESPACIAL DE RENOVALES DE
Drimys winteri J. R. FORST. & G. FORST. EN CHILE PARA LA
DETERMINACIÓN EXPLORATORIA DE ÁREAS POTENCIALES DE
GESTIÓN SILVÍCOLA.**

2 CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN ESPACIAL DE RENOVALES DE *D. winteri* EN CHILE PARA LA DETERMINACIÓN EXPLORATORIA DE ÁREAS DE GESTIÓN SILVÍCOLA.

2.1 Resumen.

Los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* presentan un alto potencial económico para Chile, en ellos se han realizado estudios silviculturales, de modelamiento matemático, comerciales e industriales que avalan esta condición. Sin embargo no ha sido analizado su potencial productivo para su área de distribución. Por ello, se caracterizó este recurso en toda su área de distribución y dimensionó de manera exploratoria su potencial productivo, mediante una caracterización espacial, integrando bases de datos de suelo, de estructura de bosques, de sitio y antecedentes de mercado, utilizando herramientas de geomática; que permitieron describir las áreas potenciales de gestión silvícola. Los resultados muestran que de las 252.000 mil hectáreas definidas en este estudio, el 1% de la superficie corresponden a sitios de alta productividad, el 39% de productividad media, el 25% baja y el 36% muy baja. Se determinaron 100 mil hectáreas asignables a la producción de trozas de calidad para la industria de chapas y aserrío, 60 mil hectáreas potenciales para la industria de la energía y tableros y 90 mil hectáreas orientadas a los servicios ecosistémicos - no madera. Los estados de desarrollo corresponden a monte bravo, latizal y fustal delgado (Anexo 2.9), dominando las clases de altura de 4 a 12 metros y coberturas densas y semidensas, lo que indica la necesidad de aplicar cortas intermedias como limpias, cortas de liberación y raleos. Finalmente se recomiendan para la gestión de bosques indicadores simples y significativos, que dan cuenta de la complejidad biológica de los bosques, de las demandas de la sociedad y de la sostenibilidad financiera.

2.2 Introducción

2.2.1 Marco conceptual de ordenación forestal.

La planificación forestal da soporte a las decisiones silvícolas, de modo que una combinación eficiente de insumos y productos permite el mejor cumplimiento de los criterios establecidos para la gestión. Para ello el diseño y ejecución de acciones que se instrumentalizan a través del tiempo y el espacio para alcanzar los objetivos de gestión debe incluir el marco conceptual de la gestión en general, las formas en torno a la caracterización de los ecosistemas forestales, la estratificación del paisaje, el desarrollo de estrategias de gestión con objetivos y acciones, y el establecimiento de productos de gestión como indicadores de rendimiento (Davis *et al.* 2001). Al respecto Kangas *et al.* (2005) identifica las principales etapas de un proceso estratégico de toma de decisiones:

- (i) Adquirir datos forestales y evaluar el estado actual de los bosques;
- (ii) Definir los criterios y preferencias en la toma de decisiones sobre el uso de los bosques y, en la planificación participativa, conciliar los criterios y preferencias de otras partes interesadas;
- (iii) Generar un programa de tratamientos diferenciados para los bosques en el área de planificación y predecir sus consecuencias;
- (iv) Diseñar programas de producción eficientes para el área forestal; y
- (v) Elegir el mejor programa de producción y que sea eficaz con respecto a los criterios y las preferencias. Estas fases pueden aplicarse de forma iterativa, interactiva, y / o simultáneamente.

Uno de los temas de discusión previo a la planificación de acciones en los bosques, son los enfoques con los cuales se realizan. Como lo plantea Kimminis (1992), éstos dependen entre otros aspectos de la etapa de la evolución forestal

en que se encuentre un territorio o país. Donoso y Otero (2005), señalan que para el caso de Chile, se están realizando esfuerzos por ubicarse en la etapa del manejo forestal sustentable (MFS), no superando la etapa de regulación completamente, para lo cual debe mejorar la débil institucionalidad forestal, la deuda social del sector y las limitadas iniciativas de MFS particularmente en sus bosques nativos.

Los enfoques del manejo forestal han evolucionado rápidamente en función de los cambios en las demandas de la sociedad y del cambio global, en particular las transformaciones de uso de la tierra y las amenazas de cambios en el clima. Según Puettmann *et al.* (2009) la evolución de la silvicultura en Europa (especialmente a partir de finales del siglo XVII) fue influenciada fundamentalmente por tres factores: aumento de la demanda de leña, de la demanda de madera para la construcción y de la necesidad de proteger asentamientos humanos de las avalanchas. Durante siglos la silvicultura estuvo focalizada en generar un determinado bien o servicio del bosque, pero a partir de mediados del siglo XX se introdujo el concepto de uso múltiple de los bosques, a través del cual se comenzó a visualizar que los bosques pueden producir mucho más que madera, incluyendo otros bienes y variados servicios. Este concepto, sin embargo, se refiere fundamentalmente a la multiplicidad de bienes y servicios que pueden generar los bosques, pero no incorpora el valor potencial y relevancia ecológica de los bosques a nivel del territorio ni tampoco variables sociales o culturales que deben ser determinantes en cómo se usan los bosques. El cambio de paradigma en relación al uso de los bosques ocurre hacia finales del siglo XX y es reflejado por Kohm y Franklin (1997) al señalar que si la ciencia forestal del siglo XX se focalizó en simplificar los bosques para producir madera a nivel de rodal, en el siglo XXI ésta se definirá a través del entendimiento y manejo de la complejidad, proveyendo un amplio rango de bienes y servicios, y considerando todo esto a nivel de paisajes. El concepto que engloba las nuevas visiones en relación al manejo forestal es el de manejo ecosistémico.

El manejo ecosistémico se define como (Overbay, 1992) “El cuidadoso y habilidoso uso de principios ecológicos, económicos, sociales y de gestión en el manejo de ecosistemas para producir, restaurar o sostener la integridad ecosistémica y las condiciones, usos, productos valores y servicios deseados en el largo plazo”. Este tipo de manejo, difiere del manejo tradicional, incluyendo aquel basado en el concepto de uso múltiple, en el sentido que considera tanto los componentes bióticos como abióticos del ambiente y sus interacciones con el paisaje así como incorpora componentes culturales sustanciales. Implica una aproximación holística e interdisciplinaria para mantener la diversidad natural y la productividad a nivel de paisaje así como las culturas locales (Szaro *et al.* 1998, Lackey, 1998). A este modelo de manejo hay que aspirar, y para ellos deben confluir las ciencias forestales, biológicas, económicas y sociales, además de los actores e instituciones relevantes que son afectados por las actividades de manejo de bosques y ecosistemas forestales en general.

Desde el punto de vista de la ecología forestal, el manejo ecosistémico, debe considerar que el manejo forestal debe procurar mantener la biodiversidad y las funciones asociadas a los bosques, las cuales se traducen en servicios ecosistémicos de acuerdo a las demandas de la gente y las comunidades locales. Las funciones de los bosques dependen de la composición y estructura de éstos, y estas dos últimas variables a su vez dependen del régimen de disturbios de una determinada región. Como consecuencia, un planteamiento general es que el manejo forestal debe asimilarse al régimen de disturbios de una región para mantener la estructura, composición y función de los bosques y adaptarse, a través de la silvicultura, a las demandas sociales en relación a los bienes y servicios de los bosques (Donoso *et al.* 2009, Donoso, 1993).

En este sentido el manejo forestal de uso múltiple MUFM, es un concepto que instrumentaliza el deseo del MFS e incluye un enfoque ecológico en la aplicación de la silvicultura y el manejo forestal, tanto de los bosques nativos como de las plantaciones. Si bien el principal objetivo sigue siendo el producir madera, esto se hace de modo ambientalmente correcto, y asegurando un abastecimiento

sostenido de madera y otros bienes y servicios de los bosques. Al respecto, Noss (1999) señala que el MUFM integra la biodiversidad en la gestión y considera para los inventarios, diversos valores de los bosques, tales como la producción de madera, producción de agua, la prevención de los suelos, captura de carbono, y el potencial de la recreación de los ecosistemas son inventariados y caracterizados.

En este contexto la ordenación forestal contribuye a avanzar hacia la etapa de MFS, entendiendo este concepto como el proceso de planificación y organización de la gestión forestal y de la economía de los recursos forestales, vale decir de la toma decisiones relativas al futuro de los bosques en función de los objetivos a alcanzar, las necesidades que se espera satisfacer y los métodos utilizados en su puesta en práctica (Cabello, 2002); para lo cual un requisito básico es la determinación de la magnitud de extracción que debe ser igual o menor a la capacidad productiva del recurso forestal (Cruz *et al.* 2005). Siendo fundamental estratificar o rodalizar el bosque, concepto utilizado en el manejo forestal donde el área es dividida en rodales y subrodales considerando la similitud de las características que presenta en cuanto a pendiente, exposición, composición florística, densidad y estructura, buscando establecer divisiones de menor variación para simplificar el manejo y su conservación. (González *et al.* 2004).

Desde el punto de vista de los usos productivos como el agrícola o forestal, pueden definirse zonas con distintos niveles de productividad, que podrían constituir de igual forma unidades ambientales (Glaría, 1980). Por su parte Aguiló *et al.* (1998), establecen que la definición de unidades homogéneas parte de la premisa que en todo territorio pueden distinguirse regiones naturales que tienen su origen en procesos climáticos y tectónicos; a partir de ellos y sobre particulares condiciones geomorfológicas y edáficas, se producirán paisajes diferentes. Al respecto, Gayoso y Muñoz (2000) indican que para determinar áreas homogéneas en cualquier proyecto asociado a la ordenación del territorio, es necesario definir unidades de análisis que tengan cierta homogeneidad: física (respecto de su geomorfología, topografía, suelos, exposición, altitud, pluviometría, características

del paisaje), económica (recursos, uso actual y potencial), y social (densidad poblacional, ruralidad, área de influencia, pertenencia administrativa).

Peña y Mardones (1999), señalan que factores como la geomorfología, la pendiente, los suelos, la exposición y la disponibilidad de agua, inciden en la velocidad de crecimiento de las plantaciones, similar opinión expresan Jaque *et al.* (2004), quienes además, sostienen que los elementos del medio biofísico funcionan como factores, que al interactuar entre sí, inciden en las potencialidades y restricciones para el desarrollo de una actividad productiva asentada en un territorio.

De lo planteado previamente y para definir áreas homogéneas bajo el concepto de productividad forestal, pueden definirse zonas que presentan similares condiciones de sitio (edáficos, climáticos y fisiográficos), que podrían constituir de igual forma, unidades ambientales homogéneas, que para fines de precisar tecnología silvícolas pasaremos a denominarlas zonas homogéneas de manejo (ZHM) o zonas de gestión silvícola.

Respecto a la delimitación de estas zonas (ZHM) se deben considerar y evaluar las limitaciones y potencialidades del sitio, y deben centrarse especialmente en las propiedades físicas y químicas del suelo (Schlatter *et al.* 1998; Toro 2003; Roel y Terra 2006; Ortega, 2007), el factor climático (Gerding y Schlatter 1995; Schlatter y Gerding, 1995; Flores y Lee, 2004) y las variaciones fisiográficas (Toro, 2003; Roel y Terra, 2006).

El concepto de sitio, es definido por Skovsgaard y Vanclay (2008) como una localización geográfica que es considerada homogénea en términos de su entorno físico y biológico. Este se clasifica de acuerdo a su similitud en relación con el clima, topografía, suelo y vegetación, para propósitos de gestión, incluyendo la estratificación ecológica para optimizar la estimación de la productividad del sitio forestal. Estos mismos autores mencionan que la productividad del sitio es a menudo cuantificada como un índice, por lo general, la clase o índice de sitio y se utilizan ampliamente con fines de gestión. Más comúnmente, el índice de sitio se

basa en estimaciones de altura total de los árboles dominantes a una edad determinada. Además mencionan que calidad del sitio y la productividad del sitio a menudo son usados indistintamente, ellos no son sinónimos: la calidad de sitio se refiere a la combinación de factores físicos y biológicos que caracterizan una localización geográfica, e involucra una clasificación descriptiva y sus propiedades que determinan generalmente inherentes al sitio, pero muchas veces influenciadas por el manejo; en cambio, la productividad de sitio es una estimación cuantitativa del potencial de un sitio para producir biomasa vegetal.

Schlatter y Gerding (1995), presentaron para Chile un sistema de clasificación de sitios con el fin de elaborar un ordenamiento de la tierra basado en la productividad forestal. El sistema se fundamenta en factores ambientales, ponderados según su grado de incidencia en la productividad, es decir, primeramente en el macroclima, luego en el clima local, el suelo en sus características y propiedades físicas y finalmente en sus características y propiedades químico-nutritivas. Los resultados concluyen que el clima es el factor con principal ponderación en la definición de una clasificación territorial hasta una escala de 1:500.000 y el suelo pasa paulatinamente a ser el factor decisivo a nivel más detallado. Se concluye que Chile se subdivide en 6 regiones macroclimáticas bien diferenciadas (Figura 2-1). Cada una de ellas se subdivide en zonas de crecimiento (clima), distritos de crecimiento (clima) y áreas de crecimiento (clima y suelo).

Schlater (1994), desarrolló estudios de productividad en bosques de *Nothofagus pumilio* determinando que la temperatura es el factor de mayor importancia en su distribución altitudinal; pero aún más decisivo es el balance hídrico del sitio, indicando que el clima, a través de las precipitaciones y la evapotranspiración, y el suelo a través de su capacidad de agua aprovechable son fundamentales para asegurar el abastecimiento de agua que la especie necesita y que la especie no se desarrolla en suelos de mal drenaje y presenta pobre desarrollo en suelos de baja fertilidad.

Por su parte, Thiers *et al.* (2008), identificó para *N. obliqua* que el clima, suelo y topografía son las variables del sitio que explican significativamente, su productividad. La metodología aplicada fue la utilización de estadística multivariada, correlaciones y regresiones ordenándose los diferentes sitios de acuerdo con su productividad y determinado relaciones de dependencia del parámetro de productividad, altura total a una edad clave, con variables del sitio. Los resultados determinaron que el balance hídrico del sitio es un factor relevante a escala de trabajo nacional, en tanto que las variaciones topográficas y edáficas son relevantes a escala regional. Por lo tanto, la silvicultura en bosques de *N. obliqua* debe considerar las variaciones del clima en Chile y también las variaciones del balance hídrico en cada sitio producto del cambio climático.

Finalmente cabe destacar que una correcta caracterización de las zonas homogéneas de manejo, permite desarrollar prácticas silvícolas específicas al sitio que se orienten a manejar los recursos (agua, luz y nutrientes), y se dirijan a mejorar el crecimiento y la productividad de los bosques (Álvarez, 1998; Toro, 2003).

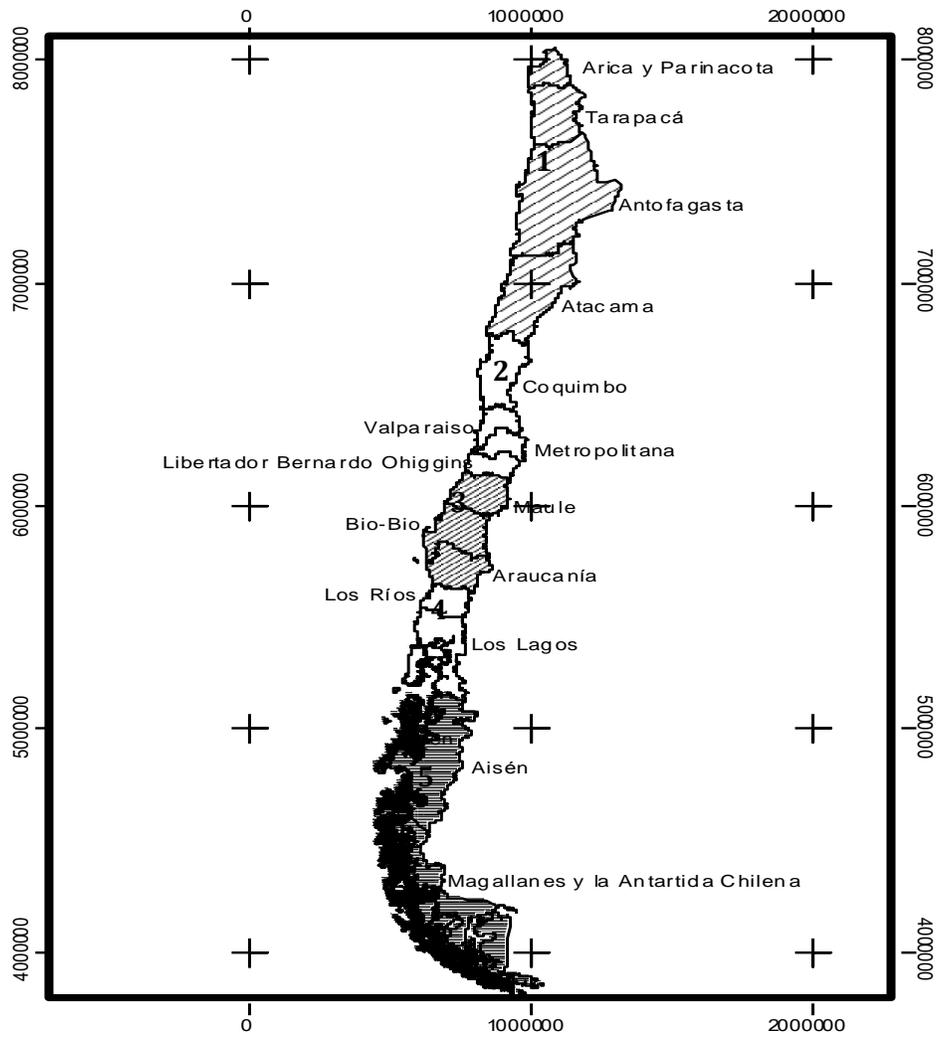


Figura 2-1. Regiones microclimáticas distinguidas en Chile para un ordenamiento territorial con fines de planificación forestal

2.3 Productividad en renovales de *D. winteri*.

Los bosques se distribuyen en el mundo básicamente de acuerdo al clima, y a su vez, la vegetación es formadora de suelo y de microclimas, por lo que la clasificación climática tiene gran importancia desde el punto de vista forestal (Donoso, 1981a). Una de las clasificaciones más conocida y empleada en general es la de Köppen, de gran aplicabilidad para cualquier región de la tierra, pero no aporta una visión local, ya que el clima local o microclima puede ser muy diferente del macroclima o clima general de la región, lo que puede ser determinante en la distribución local de la vegetación (Novoa y Villaseca, 1989).

Schlatter y Gerding (1995) según la clasificación macroclimática (figura 2-1), ubican a los renovales de *D. winteri* en la zona de crecimiento 4, que se caracteriza por suficiente pluviometría durante todo el año, aun cuando la mayor parte se concentre en otoño-invierno; la cubierta forestal es continua y de alta productividad y la temperatura es gradualmente un factor limitante de importancia, que en la parte sur de la región es selectiva y afecta el crecimiento de los árboles. Estos autores plantean que los factores de mayor ponderación aquí considerados son la cantidad pluviométrica, la humedad relativa estival, el período libre de heladas y el número de días con heladas y su intensidad. Sin embargo, plantean que una subdivisión del área de crecimiento en sitios debiera apoyarse en los siguientes factores: profundidad arraigable del suelo, drenaje y capacidad de agua aprovechable, especialmente en regiones con déficit hídrico anual o estacional. En regiones con adecuada oferta de agua destaca el horizonte A, en su grado de desarrollo y nivel nutritivo, como factor decisivo para la producción, en reemplazo de la capacidad de agua aprovechable.

El clima de los bosques de *D. winteri* en la Región de Araucanía, límite norte del área de estudio, corresponde a un clima templado lluvioso (Donoso, 1981), localizado principalmente en la Cordillera de la Costa y en la precordillera Andina. Se caracteriza esta zona por una mayor continentalidad debido a su relativo

alejamiento del mar, lo que provoca un mayor contraste en las temperaturas, encontrándose mínimas de 2° C y máximas de 23° C en los meses más calurosos. Las precipitaciones varían entre 1.500 y 2.500 mm, existiendo un período seco que dura de uno a dos meses. En la costa existe una variedad climática denominada clima templado oceánico de costa occidental con abundante humedad relativa y precipitaciones entre 1.000 y 1.500 mm; en la parte más alta de la Cordillera de la Costa se producen las mayores precipitaciones. En la Cordillera de Los Andes, el clima frío de altura se caracteriza por un aumento de las precipitaciones (3.000 mm anuales) y bajas temperaturas durante todo el año. Sobre los 1.500 metros, las precipitaciones son sólidas y las temperaturas bajo 0°C y los periodos secos se extienden por uno a dos meses.

En la Región de los Ríos y Los Lagos, límite sur del área de estudio, el clima es templado lluvioso con un régimen de precipitaciones distribuido a lo largo de todo el año y ausencia de períodos secos largos (Donoso, 1981); sin embargo, existen variaciones por efecto del relieve. En este caso, por la presencia de la Cordillera de la Costa y de Los Andes, se producen significativas diferencias de precipitaciones, el occidente de los macizos andino y costero presentan la más alta tasa de precipitación, y en la depresión intermedia disminuye la caída de lluvia. En estas regiones se presentan dos subtipos climáticos: el templado lluvioso con influencia mediterránea y el templado frío de costa occidental con máximo invernal de lluvias.

Las condiciones donde mejor se desarrolla *D. winteri*, corresponden a las zonas de clima oceánico templado húmedo con influencias oceánicas, lo que ocurre entre aproximadamente el paralelo 38° y el 44° S, especialmente en las laderas occidentales de la Cordillera de la costa y muy especialmente en Chiloé, y las de más al sur donde el clima pasa a ser oceánico frío-ventoso, pero con fuerte influencia oceánica que atenúa las bajas temperaturas. (Di castri y Hajek, 1976).

El suelo donde se desarrolla *D. winteri* (Chile), se caracteriza por presencia de humedad permanente. En los sectores de depresión intermedia y en gran parte de su distribución en la Cordillera de la Costa, los suelos son de origen sedimentario

y en las Islas del sur de Chiloé crece sobre suelos de origen metamórfico, pero también lo hace en suelos graníticos y en especial de origen volcánico en grandes sectores de la cordillera de los Andes.

Con respecto a la topografía donde se desarrolla, corresponde a una morfología de montaña con una orientación norte-sur, dividida en dos cordones principales separados por el valle intermontañoso. El cordón más occidental de los Andes presenta las mayores alturas, constituidas por conos volcánicos que son el reflejo del intenso volcanismo que la afectó. En una angosta franja litoral se desarrollan los suelos de praderas costeras, evolucionados sobre terrazas marinas y depósitos aluviales recientes. En el Valle Central y Precordillera de los Andes aparece un tipo de suelo derivado de cenizas volcánicas denominado trumao, son suelos profundos, con altos contenidos de materia orgánica y una alta capacidad de retención de humedad.

De las variables fisiográficas, Balharry (1984) determinó que la altitud y la pendiente, exposición y forma de la pendiente son los factores ambientales que tienen mayor relación con la productividad. En general la productividad aumentan al disminuir la altitud; lo mismo sucede, pero a nivel local, con la pendiente, identificando que en bajos de ladera y fondos de quebrada, existe mayor productividad que en los situados a media ladera. Esto puede estar relacionado con adecuados regímenes de humedad para la especie y el efecto moderado del viento, lo que implica una menor tasa de transpiración. Cabe destacar que las variables ambientales que se asocian mayoritariamente a la productividad de este subtipo, está la pendiente como variable ambiental, que mientras mayor sea la pendiente local, menor es la abundancia de *D. winteri*. Esto se debe a la incidencia de la pendiente en la disponibilidad hídrica, elemento fundamental en los primeros estados de desarrollo y en la productividad de la especie (Corvalán, 1986).

Con respecto al drenaje y exposición, Balharry (1984) determinó que a medida que el drenaje es más imperfecto (el agua se va haciendo excesiva) para *D. winteri*, la calidad de plantas era inferior.

Respecto a la orientación a medida que se avanza desde las exposiciones norte hacia la sur hay menor cantidad de plantas de canelo, lo que podría explicarse por la mayor insolación existente cerca de las exposiciones norte, no siendo tan significativa la diferencia en la disponibilidad de agua entre ambas exposiciones en la zona. Según lo anterior y de acuerdo al estudio realizado por (Donoso *et al.* 2007), en la Isla de Chiloé los renovales de *D. winteri* en exposiciones norte tienden a tener una mayor presencia de especies como *Eucryphia cordifolia* Cav. y *L. philippiana* (Looser) Schodde, mientras que aquellos en exposiciones sur se asocian a especies como *Nothofagus nitida* (Phil.) Krasser o mirtáceas, estas variaciones topográficas locales es probable que tengan importantes efectos en la productividad de estos bosques.

La mejor expresión en términos de productividad de los renovales de *D. winteri* se ubica en la Isla de Chiloé y algunos sectores de la Cordillera de los Andes en la Provincia de Llanquihue. Los suelos en la costa de Chiloé son extremadamente húmedos, con una capa de 5 a 10 cm de humus y con horizontes orgánicos gleizados (Holdgate, 1961) y profundidades no mayores de 1 metro, donde se topan generalmente con un horizonte arcilloso endurecido o con arena gruesa, siendo en los terrenos ondulados o de cerros donde se encuentran los suelos de mejor drenaje; dominan en la Isla en general los suelos esencialmente orgánicos, delgados y ácidos. En la Cordillera de los Andes se encuentran suelos preferentemente del tipo trumao profundos, con drenaje bueno a moderado, texturas francas en general, con pH de 5,3 en la superficie, aumentando hasta 6,9 en la profundidad (Peralta, 1975).

Calquín (1987), en un estudio de sitio para *D. winteri* determinó seis clases de sitio forestales que explican su productividad (figura 2-2), encontrándose parcelas de 6,39 metros de altura dominante a los 35 años contra otras de 23,49 metros. Los sectores de características de ñadis (suelo delgado y constantemente anegado) el índice de sitio es bajo; mientras que en sectores montañosos con suelo tipo trumao (suelo profundo y bien drenado) el índice de sitio es alto. Las variables ambientales explicatorias de las diferencias de sitio más importantes y que

explican la productividad son: el drenaje local, exposición local y pendiente local, explicando la productividad en un 43%, siendo el drenaje el más importante, lo que coincide con lo planteado por Schlatter y Gerding (1995) respecto a regiones con déficit hídrico estacional. Los otros factores analizados y que explican en menor medida la productividad de estos bosques fueron altitud, forma de la pendiente, sustrato, geomorfología y situación topográfica (Fórmula 2-1 y 2-2).

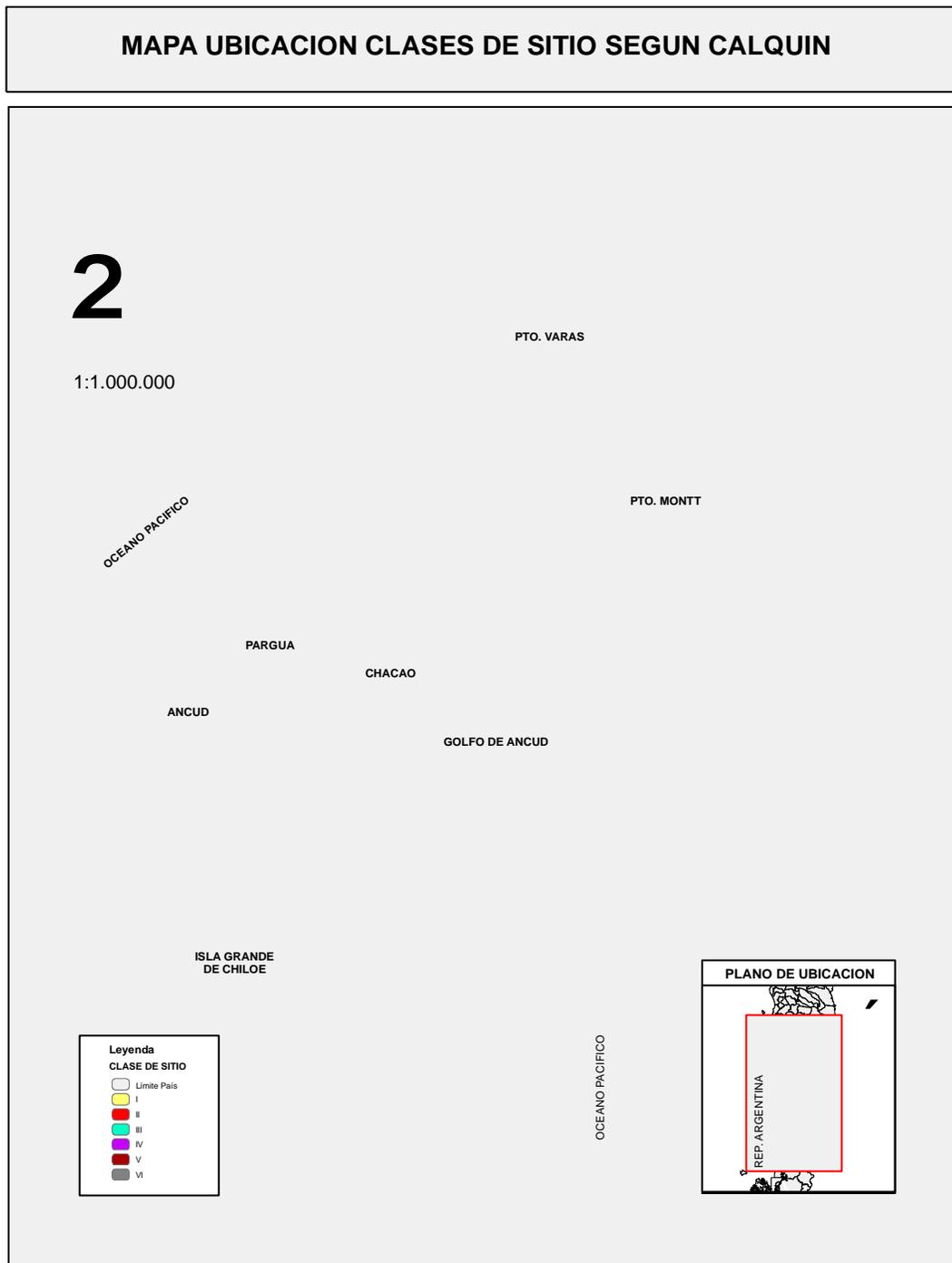


Figura 2-2. Sitios forestales definidos por Calquín (1986).

2.4 Homogeneidad de renovales de *D. winteri* para la gestión silvícola.

En el marco de la ordenación forestal es fundamental definir unidades de gestión silvícola, para lo cual es necesario estratificar o rodalizar los bosques en base a sitio, estructura, homogeneidad o similitud de bosques para ciertos objetivos de producción. Ello basado en las acciones factibles de llevar a cabo de acuerdo a la etapa de desarrollo del rodal, mercados y marco legal. Al respecto, el concepto de homogeneidad de rodal, se caracteriza por la uniformidad en la asociación vegetal, su estructura, etapa de desarrollo y sitio (Vita, 1996). Para ello es importante revisar los sistemas de clasificación orientados para la ordenación forestal en bosques de segundo crecimiento, ello permitiría normalizar las tecnologías silvícolas factibles de implementar.

Para efectos de definir unidades de gestión silvícola en zonas homogéneas de manejo basado en la productividad de esta especie, es importante considerar como factor las prácticas que dan origen a estos renovales. Al respecto Schlatter *et al.* (2003), evaluaron el efecto de dos prácticas: una el abandono de terrenos agrícolas y la otra la tala rasa (*corta a hecho*) de bosques, y demostraron que el origen proviene de masas boscosas altamente intervenidas siendo evidente su origen antrópico. En la mayoría de los casos se ha producido por actividades de colonización, extracción de madera de calidad y habilitación de terrenos para la agricultura lo cual posibilitó el crecimiento y desarrollo de los bosques de segundo crecimiento dominados por la especie *D. winteri*. El efecto de estos disturbios a escala de rodal alteró las condiciones de sitio, específicamente a nivel de suelo, y con ello la estructura de los bosques de *D. winteri*. Donoso *et al.* (2007) indican que la práctica común que da origen a estos bosques es tala rasa, quema y posterior abandono. En este mismo contexto con el objeto de conocer el efecto del origen de estos renovales sobre la oferta de madera de calidad, Esse (2009) determinó que aquellos establecidos después de tala rasa, presentan una mejor forma fustal, que aquellos originados de abandono de terrenos agrícolas y

ganaderos, estas últimas dan origen a árboles de grandes copas, muy ramosos con un menor potencial silvícola, concluyendo que los disturbios afectan el desarrollo de la especie en cada rodal. Estos aspectos deben estudiarse para incorporarlo a los planes de ordenación forestal.

Existen diferentes metodologías de clasificación de bosques que pueden aplicarse en el marco de la ordenación forestal. Un enfoque de clasificación fitosociológica corresponde a la metodología propuesta por (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974) en que agrupa las parcelas considerando el criterio de homogeneidad en la composición, fidelidad y abundancia-dominancia de las especies.

En Chile, la clasificación de los bosques está definida por el trabajo desarrollado por Donoso (1981, 1993), quien define tipos forestales en función de las especies presentes en el estrato dominante, la estructura de los bosques y su ubicación geográfica de la comunidad forestal. Se debe destacar que los trabajos previos de clasificación de bosques se basan en criterios ecológicos, lo que no facilita la normalización de la silvicultura y conservación de los bosques chilenos. Este trabajo definió 12 tipos forestales, donde los renovales de *D. winteri* corresponden a un subtipo del tipo forestal siempreverde, con predominio de bosques de segundo crecimiento dominados por esa especie y con densidades muy altas (800 a 20.000 árboles por hectárea), que se originan como consecuencia de la destrucción del bosque original, que ha ocurrido generalmente por tala rasa o incendios forestales.

INFOR (2008), utiliza en sus manuales de silvicultura en bosque nativo el estado de desarrollo como criterio de clasificación de estructura, identificando las etapas de regeneración, brinzal, monte bravo, latizal, fustal delgado, fustal medio, fustal grueso, adulto, sobremaduro; para los cuales definen diferentes tipos de intervenciones posibles de realizar, siendo fundamental para ello incorporar mapas de sitio para las decisiones silvícolas.

Otros sistemas de clasificación más generales son los que se basan en el origen de la regeneración, si es de semilla, vegetativa o mezcla de ambas,

denominándose monte alto, monte bajo, monte medio respectivamente (Donoso, 1993); o según la composición de especies en bosques puros o mixtos y según la edad en coetáneos y multietáneos. En otros países los métodos de clasificación que permiten precisar las tecnologías silvícolas y que podrán ser implementados en Chile, podemos nombrar los siguientes:

- a) Bormann y Likens (1979), definen etapas de desarrollo denominadas de reorganización, agregación, transición y de equilibrio;
- b) Spies y Franklin (1996), clasifican los bosques en seis fases, siendo estas de establecimiento, raleo, madurez, transición temprana, transición tardía, y desmoronamiento;
- c) Carey y Curtis (1996), diferencian las etapas de iniciación del ecosistema, de exclusión por competencias, reiniciación del sotobosque, diversidad botánica, diversificación de nichos y envejecimiento;
- d) Oliver y Larson (1996) definen cuatro etapas de desarrollo: iniciación del rodal, exclusión fustal, reiniciación del sotobosque, envejecimiento.

Otro enfoque que facilita la normalización de la silvicultura se basa en índices de densidad relativa (Reineke, 1933, Curtis, 1971) e índices de homogeneidad de rodales, entre los cuales este estudio destaca el desarrollado por De Camino (1976) por su simpleza y utilidad práctica para definir espacialmente y estructuralmente unidades de gestión silvícola. Este autor define la homogeneidad de rodal como la relación porcentual entre el número de árboles y el volumen, ambos estratificados por clase de diámetros; según lo anterior en un rodal absolutamente homogéneo cada árbol tiene el mismo volumen a diferencia de un rodal heterogéneo, en que un alto porcentaje de los árboles tiene una pequeña proporción del volumen y un pequeño número de árboles tiene una alta proporción de este último.

En bosques nativos como los de segundo crecimiento con dominancia de una especie, es recomendable iniciar la incorporación de estos índices, de manera que permitan simplificar el análisis estructural para la toma de decisiones silvícolas.

Actualmente se incorpora en la discusión de las tecnologías silvícolas el concepto de silvicultura de precisión, que se basa en la segmentación de zonas de productividad homogénea, lo cual hoy día se ve facilitado por el acceso a tecnologías de información, como los sistemas de información geográfica y la percepción remota, desarrollándose mediante estas técnicas trabajos de rodalización, clasificación y mapeo de sitios forestales (González *et al.* 2004, Ortega *et al.* 2002)

Con el objetivo de definir a nivel exploratorio áreas potenciales de gestión silvícola, este estudio caracteriza espacialmente en términos de productividad y homogeneidad los renovales de *D. winteri*. Los objetivos específicos planteados son:

- a. Caracterizar espacialmente los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* en base a variables fisiográficas, de suelo e índice de sitio.
- b. Caracterizar espacialmente los renovales de canelo en base a clases de altura, cobertura e índice de sitio (*índice de calidad de estación*).

2.5 Materiales y método

2.5.1 Área de estudio

El estudio se localizó en Regiones De la Araucanía (Provincia de Cautín), Región De Los Ríos (Provincias de Valdivia y Ranco) y Región De Los Lagos (Osorno, Llanquihue, Chiloé, Palena) en el sur de Chile correspondiente a una superficie de 252.000 ha de bosques de segundo crecimiento de *D. winteri*. (Figura 2-3).

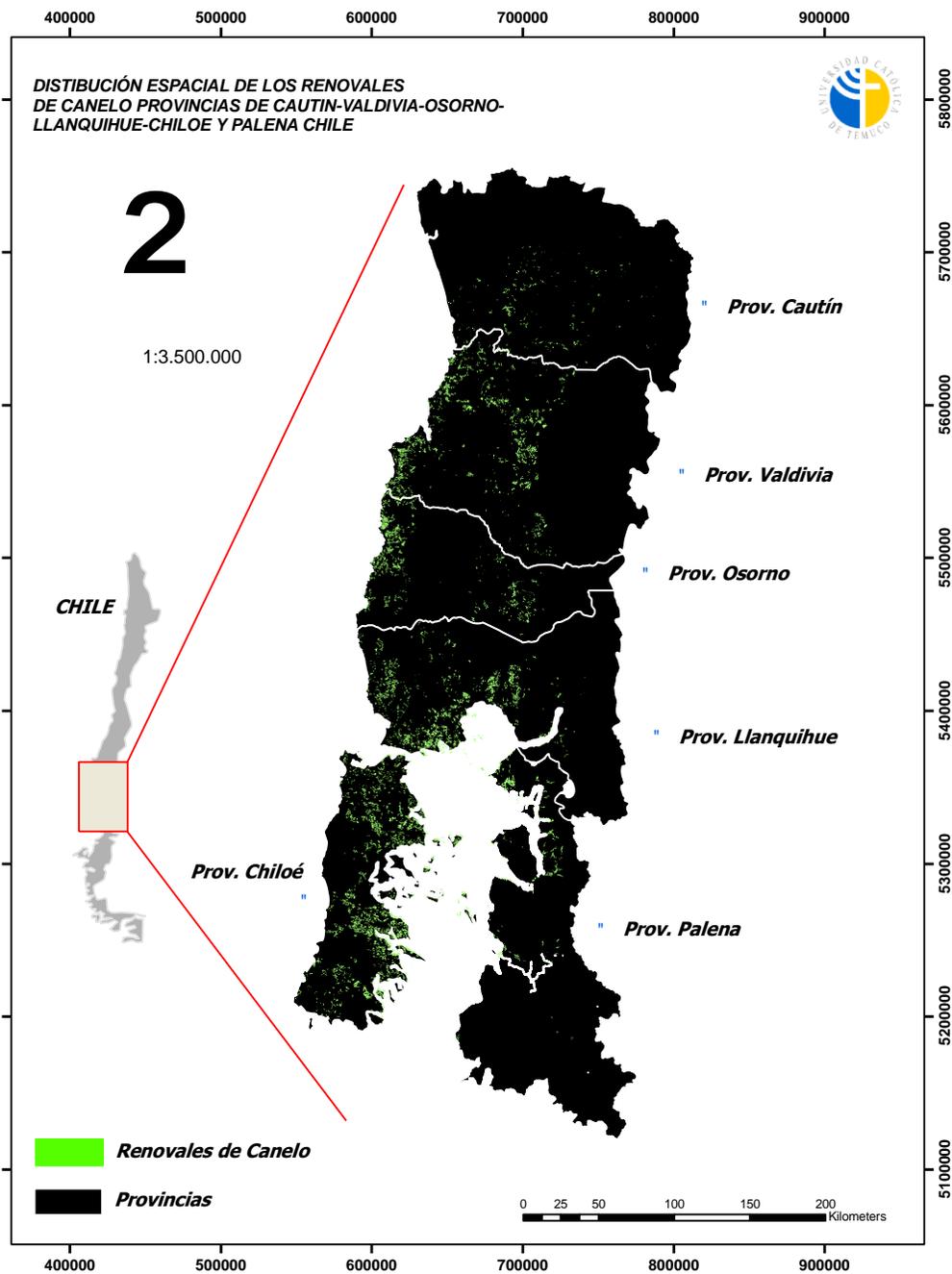


Figura 2-3. Distribución espacial de los renovales de *D. winteri* para el área de estudio.

2.6 Antecedentes de clima y suelo.

El clima bajo el cual se desarrolla el subtipo renovales de *D. winteri*, se caracteriza fundamentalmente por altas precipitaciones en forma de lluvia. La precipitación anual varía desde aproximadamente 2.000 mm a 5.000 mm., produciéndose un aumento de norte a sur y también de oeste a este. Estas precipitaciones se distribuyen a lo largo de todo el año, no existiendo períodos secos, aunque en las áreas septentrionales hay años en que se producen bajas significativas en las lluvias de verano. Las temperaturas medias de verano fluctúan entre 15° en los 39° latitud sur y 11° en los 47° latitud sur, mientras que las medias de invierno de 8° a 9° en el límite norte y 5° a 6° en el sur (Donoso, 1981).

La figura 2-4, presenta la gráfica de oscilación térmica y la precipitación media anual para un período de 30 años; destacando el efecto amortiguador del mar sobre las temperaturas, con una menor oscilación térmica del orden de los 6° en Ancud y Puerto Montt, ciudades ubicadas a orillas del Océano Pacífico. Respecto de Temuco y Osorno, estas últimas alejadas aproximadamente 100 kilómetros del mar. Las precipitaciones media anual aumentan con la latitud y presentan una fuerte variación en el período, alcanzando cifras promedio anuales 1.600, 1.200 y 900 milímetros para Puerto Montt, Osorno y Temuco respectivamente.

En la Región De Los Lagos y De Los Ríos, en el litoral y Cordillera de la Costa predominan los suelos de praderas costeras y los suelos pardo-rojizos que, debido a la mayor humedad y precipitaciones existentes en esta zona, presentan una tonalidad más oscura. En el Valle Longitudinal y Precordillera se desarrollan los suelos *trumao*, de color pardo oscuro, que poseen gran fertilidad. En la sección intermedia y sur de la región (Osorno, Llanquihue y Chiloé) se desarrollan los suelos pardo-podzólicos o ultisoles, que son suelos formados bajo condiciones de clima templado lluvioso, con abundante vegetación; son de color oscuro debido a la gran cantidad de materia orgánica que posee su horizonte superficial. Son suelos que han evolucionado sobre sedimentos glaciofluvio volcánicos y su

fertilidad y rendimiento agrícola es menor que el de los suelos de la zona central del país, debido a que el exceso de humedad y precipitaciones altera sus propiedades, son suelos muy lavados.

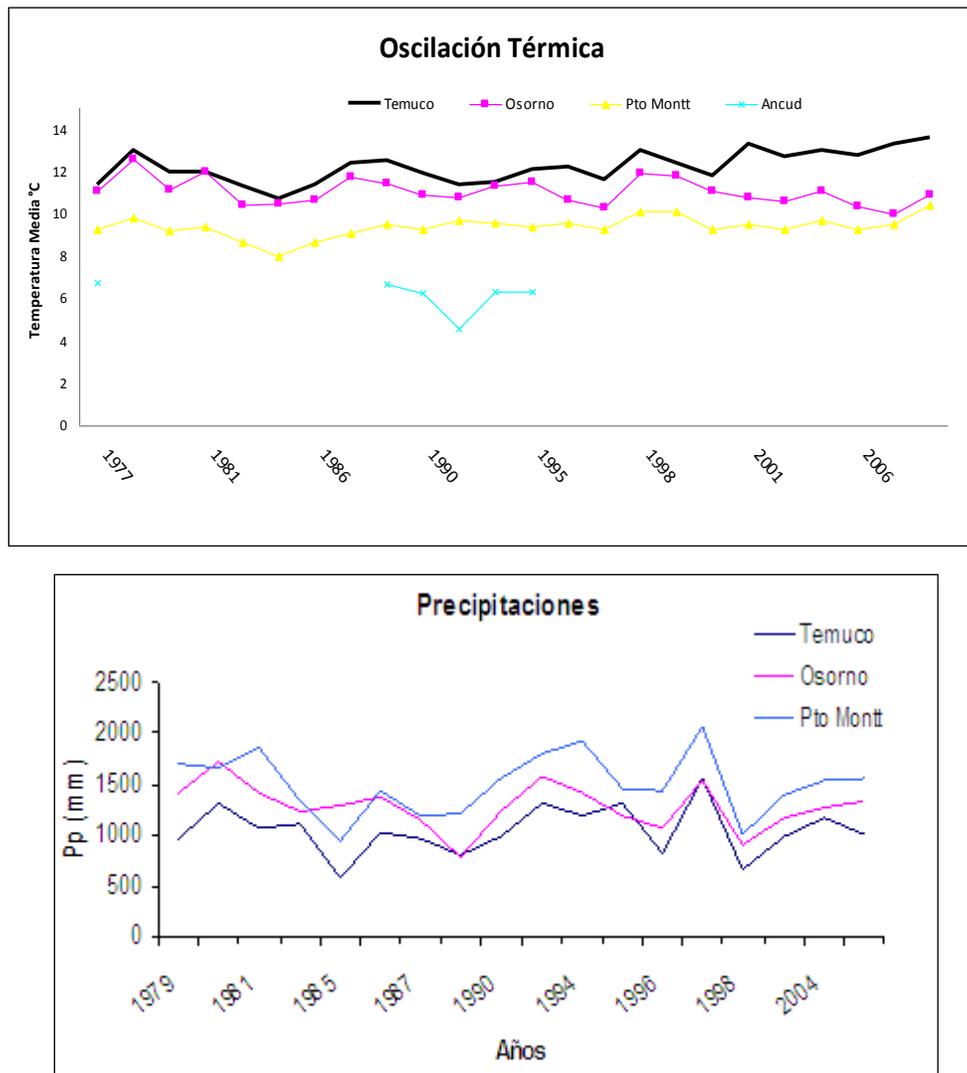


Figura 2-4. Precipitación y oscilación térmica del área de estudio período 1977-2006. (Elaboración propia estudio).

En general los suelos donde se ubican los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* corresponden suelos con formación de un trumao típico hacia un ñadi, acentuado las diferencias de drenaje original, lo que resulta en que Canelo puede ubicarse en suelos muy distintos en cuanto a drenaje, fertilidad y acidez principalmente.

2.7 Fuente de información y programas utilizados.

Para el desarrollo del estudio se utilizó la base de datos espacial y alfanumérica correspondiente al Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF, CONAMA, 1997; CONAF, CONAMA, 2007) y de suelos del Centro de Investigación de los Recursos Naturales (CIREN). Además se contó con la base de datos dasométrica pertenecientes al Instituto Forestal del proyecto INNOVA-CORFO “Tecnología silvícola de Alto Valor para Renovales de Canelo”, bases de datos de ensayos históricos de la Universidad Austral de Chile y datos obtenidos por la Universidad Católica de Temuco (UCT) para este estudio.

La información se administró como una librería de archivos, arquitectura seguida e implementada para el uso de gran cantidad de datos mediante el programa ArcGIS 9.3 con Licencia UCT. La información fue consultada, extraída y adaptada a los requerimientos de este estudio.

2.8 Evaluación de las variables que inciden en la productividad en renovales de *D. winteri*.

Se realizó una zonificación en base a las variables que inciden en la productividad de renovales de *D. winteri*, éstas se procesaron en los diferentes ambientes en un sistema de información geográfica usando el programa ArcGIS, estableciendo un plano base digital con proyección UTM – WGS 84 y huso 18 Sur. Posteriormente se extrajo la información de las coberturas o mapas digitales síntesis mediante análisis espacial.

Las variables seleccionadas que determinan en forma relevante la productividad de esta especie son altitud, exposición, pendiente y drenaje. (Donoso, 1981; Calquín, 1986; Navarro *et al.* 1997). Estas se muestran en mapas y cuadros de distribución por región y comuna con su respectiva superficie. Para ello se elaboraron mapas de pendiente, exposición, altitud y drenaje, los que fueron

integrados con la información espacial de renovales de *D. winteri*, obteniendo la superficie de estos bosques en relación a estas variables. Posteriormente se utilizó la función de índice de sitio (2-1 y 2-2) construida por Calquin (1986), la que permitió extrapolar esta variable a la zona de estudio y caracterizar la productividad de los renovales de *D. winteri*, facilitando el análisis espacial de aquellos factores que explican su productividad en relación a los requerimientos ecológicos de la especie.

Fórmula índice de sitio

$$IS = 18,82137 - 1,922026 \times D + 0,02081513 \times EL + 0,2426267 \times PL \quad (2-1)$$

(Zona Continental)

$$IS = 18,04658 - 1,630327 \times D + 0,3791192 \times EL + 0,06436765 \times PL \quad (2-2)$$

(Zona Insular)

Donde: IS = Índice de sitio (m). D = drenaje (1-6). EL = Exposición Local (1-3). PL = Pendiente Local (1-6). SE = 2,56 m. Zona continental; SE= 3,03 m. Zona Insular. SY=3,33 m. Zona Continental; SE= 3,71 m. Zona Insular. R²= 0,43 (r = 0.66) Zona Continental. R²= 0,36 (r= 0.60) Zona Insular.

Para este estudio se modificaron las clases de sitio definidas por Calquin (1986), de las seis clases se redujeron a cuatro, basado en la ausencia de bosques en la clase de sitio superior y la similitud de productividad en las clases de sitio menores (tabla 2-1).

Tabla 2-1. Clases de sitios para bosques de segundo crecimiento de *D winteri* (modificado de Calquin 1986).

Clase de sitio	Altura (m) a los 35 años	Productividad (m ³ /ha/año)	Producción (m ³ /ha)	Crecimiento medio anual (m)
I	19 (18-20)	14 (12,5- 16,5)	540,0	0,6
II	16 (15-17)	10 (8,5- 12,4)	427,5	0,5
III	13 (12-14)	6 (4,5- 8,4)	287,5	0,4
IV	9 (8-10)	2 (1-4,4)	165,0	0,3

La clase de sitio I para este estudio, corresponde a la integración de las clases de sitio I y II definida por Calquin (1986) y se caracteriza por presentar altitud, pendientes moderadas a bajas y de exposiciones sur preferentemente. Los suelos son originados de ceniza volcánica, medianamente profundos y de buen drenaje, atributos aplicables para la Isla de Chiloé. En el continente el suelo en general es tipo Ñadi, existiendo alta variabilidad en cuanto a profundidad de suelos y drenaje, se caracteriza por terrenos planos, de mal drenaje y con problemas de aireación, debido a la presencia de una banda de fragipanes derivada de acumulación de ciertos elementos sobre el sustrato de areniscas y a la existencia de napas freáticas permanentes superficiales. Sin embargo, es posible encontrar áreas dentro de esta serie de suelo que presentan buen drenaje y en general mejores condiciones de sitio para el desarrollo de la vegetación.

La clase de sitio II definida en este estudio, corresponde a la clase de sitio III de Calquin (1986), se caracteriza por presentar zonas planas, con altitudes de menores a 250 m.s.n.m. y suelos muy variables. Se caracterizan por ser terrenos planos a ondulados y escasamente quebrados, con suelos bien drenados a imperfectamente drenados, originados de cenizas volcánicas; sin embargo se encuentran en distinto grado de empobrecimiento por el manejo deficiente y uso intensivo, lo que impone limitaciones significativas al buen desarrollo de los árboles.

La clase de sitio III definida en este estudio, corresponde a la clase de sitio IV de Calquin (1986), se caracteriza por presentar altitudes de 40 a 180 m.s.n.m. de topografía plana y con drenajes buenos a imperfectos y abarcan completamente el rango de exposiciones.

La clase de sitio IV definida en este estudio, corresponde a la clase de sitio V y VI de Calquin (1986), se caracteriza por presentar una gran variedad de suelos, desde trumaos muy empobrecidos a suelos Ñadis, presentan altitudes que van desde los 50 a 440 m.s.n.m., se ubican en terrenos planos, abarcan todo el rango de exposiciones, poseen drenajes pobres. La profundidad efectiva es pequeña, escurrimiento lento, lo que produce que los suelos estén casi todo el año

sobresaturados de agua. Estas características dificultan fuertemente el desarrollo de la vegetación.

2.9 Determinación de estructuras homogéneas de bosques de renovales de *D. winteri*.

Para la determinación de renovales homogéneos o similares se utilizaron las variables clase de altura y cobertura de copas, disponibles en la bases de datos generadas en el proyecto Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Para ello primeramente se elaboró la base de datos mediante la extracción de la información de estos bosques, la digitalización de información, depuración y corrección de errores. Finalmente para definir espacialmente bosques homogéneos se realizaron las consultas a la bases de datos mediante el programa ArcGIS, definiendo doce clases de homogeneidad tabla 2-2.

Tabla 2-2. Clases de homogeneidad de rodales según clase de cobertura y clase de altura.

Clase cobertura	Clase altura			
	12 a 20 m (1)	8 a 12 m (2)	4 a 8 m (3)	2 a 4 m (4)
Denso (1)	1.1	1.2	1.3	1.4
Semi denso (2)	2.1	2.2	2.3	2.4
Abierto (3)	3.1	3.2	3.3	3.4

El resultado de esta etapa se presenta en cuadros y mapas de superficie de acuerdo a la categoría de homogeneidad de rodal.

2.10 Determinación exploratoria de las zonas potenciales de gestión silvícola. (ZGS)

En la determinación de ZGS destacan tres procesos; el primero que corresponde a la determinación de productividades en renovales de *D. winteri*, el segundo la determinación de la homogeneidad de rodales y el tercero la integración de ambos, productividad y homogeneidad.

a) El primero consistió en el análisis espacial de las variables altitud, exposición, pendiente y drenaje para los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri*. Sobre esta base y la función de índice de sitio desarrollada por Calquín (1986), se determinaron las superficies de estos bosques según la clase de sitio.

b) El segundo proceso consistió en la descripción y análisis espacial de la estructura de estos bosques, considerando las variables clases de altura y cobertura de copas, definiendo clases de homogeneidad de rodales.

c) Finalmente ambos procesos se integraron mediante análisis espacial, generando una zonificación de tipo exploratoria de las áreas potenciales de gestión silvícola, identificando las zonas de acuerdo a los procesos descritos previamente, incorporando la clase de sitio y clase de homogeneidad de rodales. Esto permitió asociar a las UGS estados de desarrollo, rango de variables dasométricas, y de esta forma orientar a propietarios de las tecnologías silvícolas factibles de aplicar para distintos objetivos de producción.

Los resultados se presentan en mapas y cuadros de distribución de zonas homogéneas, de sitio y de gestión silvícola. Posteriormente se presenta una descripción de las ZGS y en base a la información dasométrica de inventarios históricos y consulta a experto se relacionó estas unidades con su factibilidad productiva. Finalmente se ilustra para una ZGS el uso de esta información y como se operativiza a nivel predial mediante el uso de información dasométrica de campo, y la incorporación de índices tales como: índice de homogeneidad de

rodales (De Camino, 1976), índice de diversidad, índices de densidad relativa (Curtis, 1971) e indicadores económicos-financieros, como el valor neto presente, la tasa interna de retorno, la tasa de aumento del valor del bosque. Esto contribuye a reducir la incertidumbre de los planificadores y tomadores de decisiones de este recurso.

2.11 Resultados

2.11.1 Variables asociadas a la productividad de renovales de *D. winteri* y su distribución espacial.

La superficie nacional de bosque nativo corresponde a 13.430.602,5 hectáreas y de esta superficie 3.585.746,4 ha corresponden al uso renoval chileno (CONAF, 2007). Este estudio determinó que los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* en Chile ocupa una superficie de 252.062 hectáreas desde la región de la Araucanía hasta las Regiones De Los Ríos y Los Lagos representando el 7% de los renovales del bosque nativo.

La distribución espacial, considerando los factores altitud, pendiente, exposición y drenaje, que son los que explicarían la productividad en renovales de *D. winteri* se analizan a continuación. La distribución por altitud (tabla 2-3), determinó que la mayor superficie se encuentra en el rango de 0-200 m.s.n.m. con 70% del total, equivalente a 175.280 ha, la que se concentra en la Región De Los Lagos con un 80% de este total, principalmente en las provincias de Llanquihue y Chiloé con un 28 y 38% respectivamente; en segundo lugar se encuentra la Región De Los Ríos con un 17%, destacando la provincia de Valdivia con 22.086 ha equivalente al 13%. Finalmente la Región De La Araucanía, participa con tan solo el 4 % es decir con 6.358 ha en esta clase de altitud (tabla 2-3). En el rango de 200-400 m.s.n.m se encuentra el 20 % del total, con 49.334 ha, donde la Región de Los Lagos participa con un 61% de este total concentrándose principalmente en las provincias de Osorno y Llanquihue con un 23 y 22% respectivamente; en segundo lugar se ubica la Región de los Ríos con 34% de total de superficie en esta clase, destacando la provincia de Valdivia con 8.719 ha equivalente al 18% y finalmente la Región De La Araucanía, provincia de Cautín, participa con tan solo el 5% es decir con 2.693 ha en esta clase de altitud.

Los otros rangos menos representativos alcanzan solo el 11% del total de superficie que se distribuye de manera decreciente a medida que aumenta el

rango altitudinal. Al observar la distribución altitudinal de los renovales de *D. winteri* en Chile en toda su extensión, se observa que se distribuye prácticamente entre los 0 a 200 m.s.n.m. de altitud, con un 70% de la superficie (figura 2-5).

Al analizar la distribución de los renovales de *D. winteri* según el tipo de exposición (tabla 2-3), la mayor concentración está en la exposición plano con un 79% del total, equivalente a 200.094 ha. Al analizar la distribución por provincia la mayor concentración se presenta en la Región De Los Lagos con un 76% de este total concentrándose principalmente en las provincias de Llanquihue y Chiloé con un 28 y 33% respectivamente; en segundo lugar encontramos la Región De Los Ríos con 20 % de total de superficie en esta clase, destacando la provincia de Valdivia con 26.101 ha equivalente al 13%, finalmente la Región De La Araucanía, provincia de Cautín, participa con tan solo el 4% es decir con 8.348 ha en esta clase de exposición. La exposición norte ocupa el segundo lugar concentrando el 12% del total, representado por 29.453 ha, en este rango la mayor concentración está en la Región De Los Lagos con un 67% de este total distribuyéndose en las provincias de Osorno con un 27%, la provincia de Llanquihue y Chiloé con un 14% respectivamente y la provincia de Palena con un 12%; en segundo lugar encontramos la Región De Los Ríos con 30% de total de superficie en esta clase, destacando la provincia de Valdivia con 4.531 y Ranco con 4.486 ha equivalente al 15% cada una. Finalmente la Región de la Araucanía, provincia de Cautín, participa con tan solo el 2% es decir con 588 ha en esta clase de exposición. En general se visualiza una preferencia hacia la exposición plano con un 79% y la exposición menos representativa es sur alcanzando solo el 9 % del total (figura 2-6).

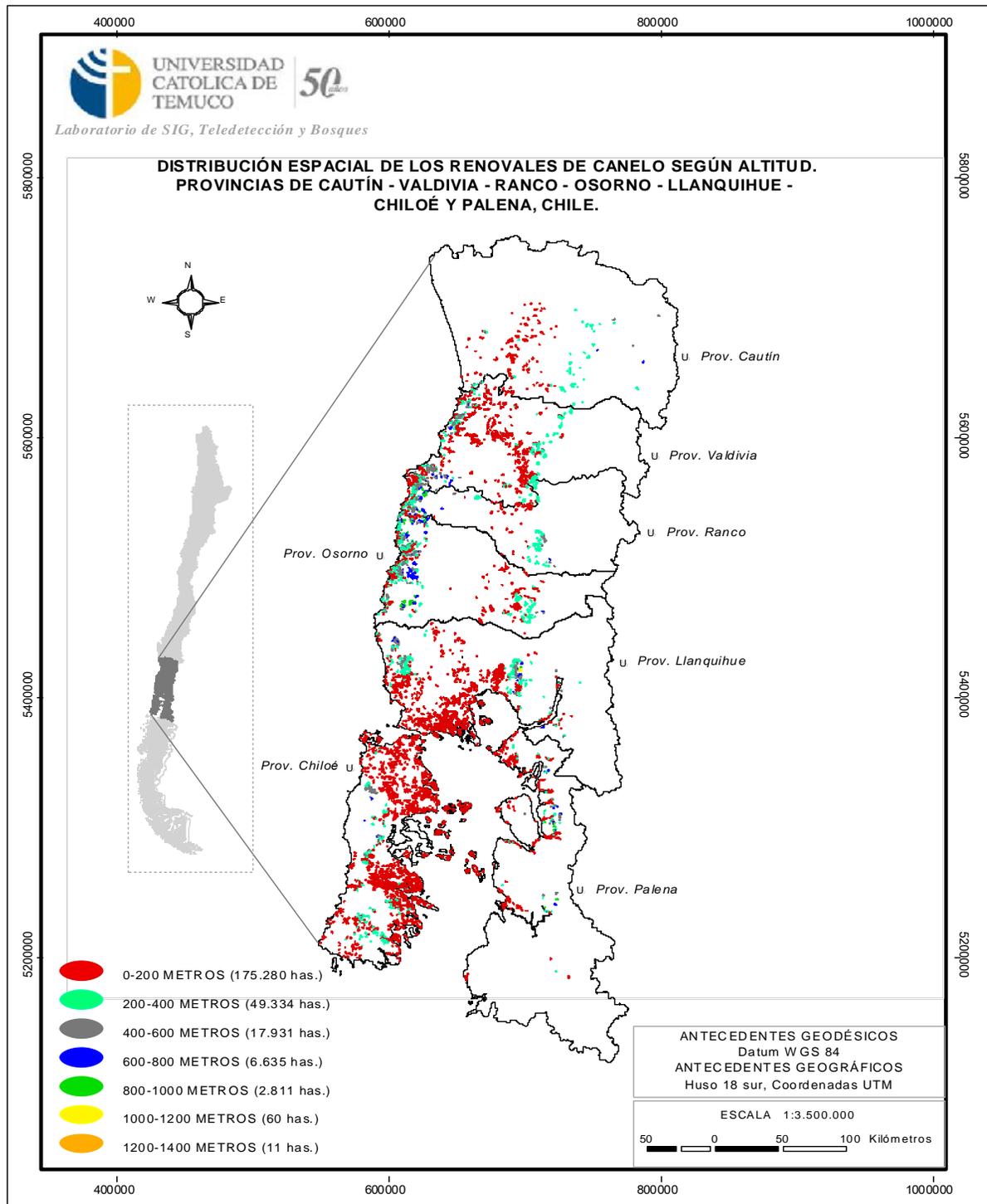


Figura 2-5. Superficie y distribución de renovales de *D. winteri* por clase de altitud.

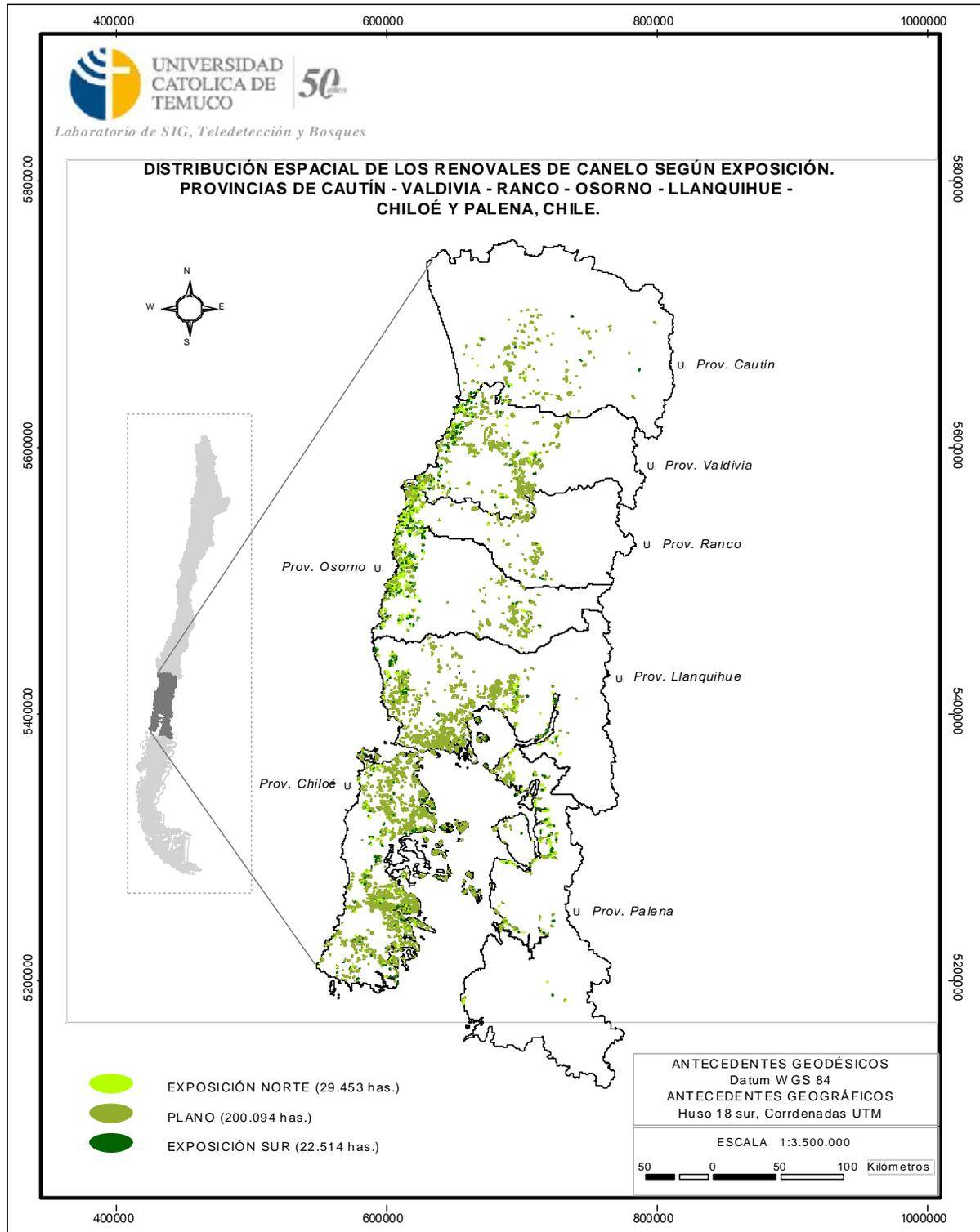


Figura 2-6. Superficie y distribución de renovales de *D. winteri* por clase de exposición.

De acuerdo a la distribución por rango de pendiente, la mayor concentración de renovales de *D. winteri* se ubica en el rango de pendiente de 0 a 15% con un 76% del total, equivalente a 200.094 ha. La clase de pendiente 15 a 30% ocupa el segundo lugar, concentrando el 16 % de estos bosques, equivalente a 39.809 ha, siendo las más importante la Región De Los Lagos con un 66% de este total, distribuyéndose en las provincias de Osorno con un 23%, la provincia de Llanquihue con un 16%, Chiloé con un 19% y Palena con un 8%; en segundo lugar se encuentra la Región De Los Ríos con 30% de total de superficie, destacando la provincia de Valdivia con 7.808 ha y Ranco con 4.867 ha equivalente al 32%. La Región De La Araucanía, provincia de Cautín, participa con tan solo el 2%, es decir, con 849 ha en esta clase de pendiente. Finalmente las clases de pendiente mayores 30% representan tan solo el 6% de superficie equivalente a 15.120 ha. Al considerar la dispersión de *D. winteri* en toda su superficie se visualiza que el 79% se ubica en sectores planos representada por el rango de pendiente 0 a 15% (figura 2-7).

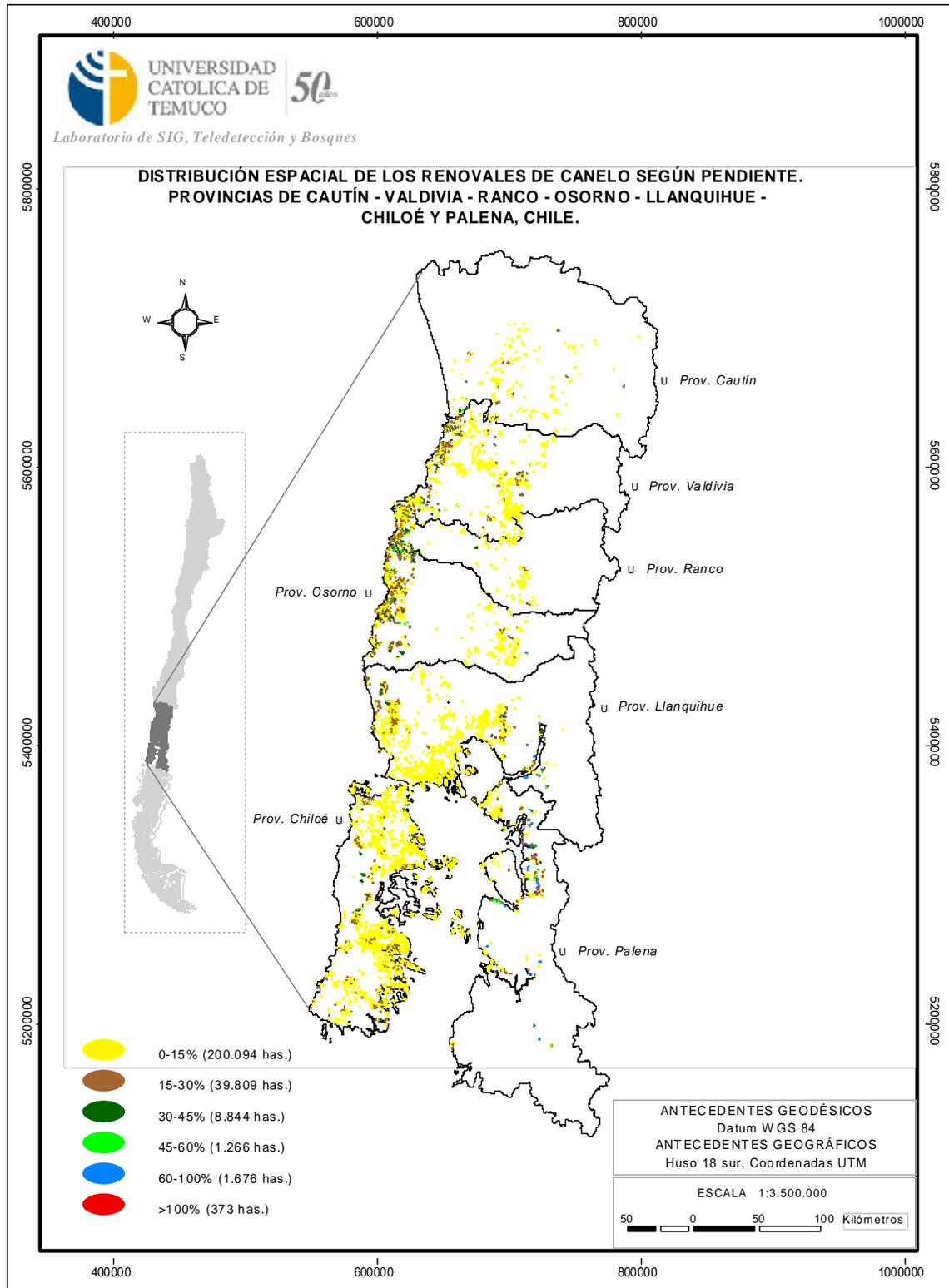


Figura 2-7. Superficie y distribución de renovales de *D. winteri* por clase de pendiente.

Los resultados del análisis de la distribución por clase de drenaje (tabla 2-3), es destacable que la mayor superficie se concentra en el drenaje de tipo imperfecto el que se caracteriza por que el agua es removida del suelo lentamente, suficiente para mantenerlo húmedo por períodos, pero no durante todo el tiempo. En esta clase se ubica el 45% de los renovales de *D. winteri* lo que equivale a 112.983 ha, de esta superficie el 73% está concentrado en la Región de Los Lagos, mayoritariamente en Chiloé con un 46 % equivalente a 51.882 ha, luego le siguen Llanquihue con 12.087 ha y Palena 17.360 ha equivalente a un 11% y 15% respectivamente. En segundo lugar se encuentra la Región de los Ríos con 18% de total de superficie en esta clase, destacando la provincia de Valdivia con 20.875 ha equivalente al 18%, finalmente la Región De La Araucanía, participa con tan solo el 8%, es decir, 9.457 ha en esta clase de drenaje. La clase de drenaje bueno es segunda en importancia en estos bosques, participando con un 28% de la superficie total equivalente a 69.404 ha y está representada mayoritariamente en la Región De Los Lagos con un 65%, distribuyéndose en las provincias de Osorno con 36% y Llanquihue con un 26%; en la Región De Los Ríos la superficie se concentra principalmente en Ranco con 23% (15.734 ha) y 12% en Valdivia. En la Región De La Araucanía no existe presencia de *D. winteri* en esta clase de drenaje.

En la clase de drenaje excesivo se ubica el 10% de la superficie de los renovales de *D. winteri*, con 26.248 ha, estando presente solo en la región de los Lagos, mayoritariamente en Chiloé con un 80% de esta superficie. Al considerar la dispersión de bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* en toda su superficie, se visualiza que el 45% se concentra en el tipo de drenaje imperfecto (figura 2-8. tabla 2-3)

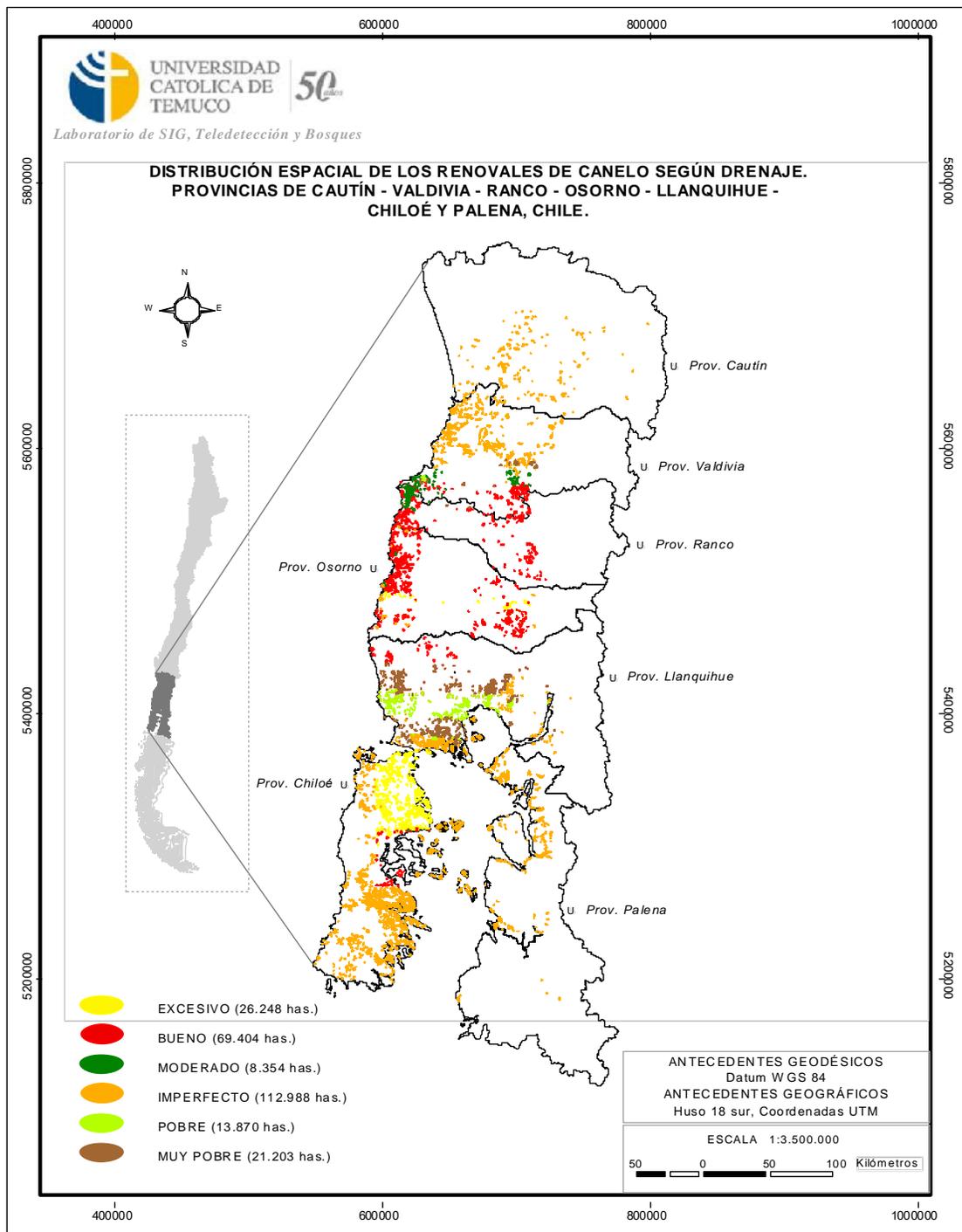


Figura 2-8. Superficie y distribución de renovales de *D. winteri* por clase de drenaje.

Los resultados de la extrapolación realizada para conocer las clases de sitios en las cuales se encuentran los bosques de segundo crecimiento de renovales de *D. winteri*, determinó que la clase con menor superficie fue la clase de sitio I con 1.543 ha, equivalente a solo el 1% del total, localizándose en la Región de Los Lagos-provincia de Chiloé (tabla 2-3).

La clase de sitio con mayor superficie corresponde a la clase de sitio II, con un 39% equivalente a 97.639 ha, de las cuales el 75% se ubica en la Región De Los Lagos, específicamente en las provincias de Osorno con 29.258 ha, Llanquihue con 19.049 ha y Chiloé con 25.296 ha; y el 25% restante se ubica en la Región De Los Ríos particularmente en la Provincia De Valdivia con 15.734 ha y con 8.302 ha en Ranco.

En un segundo lugar de importancia se ubica la clase de sitio IV con un 36 % del total, equivalente a 90.445 ha; de las cuales el 66% se concentra en la Región De Los Ríos particularmente en las provincias de Llanquihue con el 49% correspondiente a 44.007 ha, Palena con el 16% y Osorno con tan solo el 1% equivalente a 876 ha. En la Región De Los Ríos esta clase de sitio presenta el 24% de la superficie, destacando la provincia de Ranco con 21.932 ha y finalmente la Región de la Araucanía con un 10% de participación, equivalente a 9.197 ha. (Tabla 2-3)

El tercer lugar en términos de superficie lo ocupa la clase de sitio III, con un 25% del total de bosques de *D. winteri*, equivalente a 62.435 ha, estas se distribuyen principalmente en la Región De Los Ríos y de Los Lagos con 84% y 16% respectivamente. Destacando las provincias de Chiloé con 48.413 ha, Valdivia con 3.728 ha y de Ranco con 5.517 ha (tabla 2--3, figura 2-9).

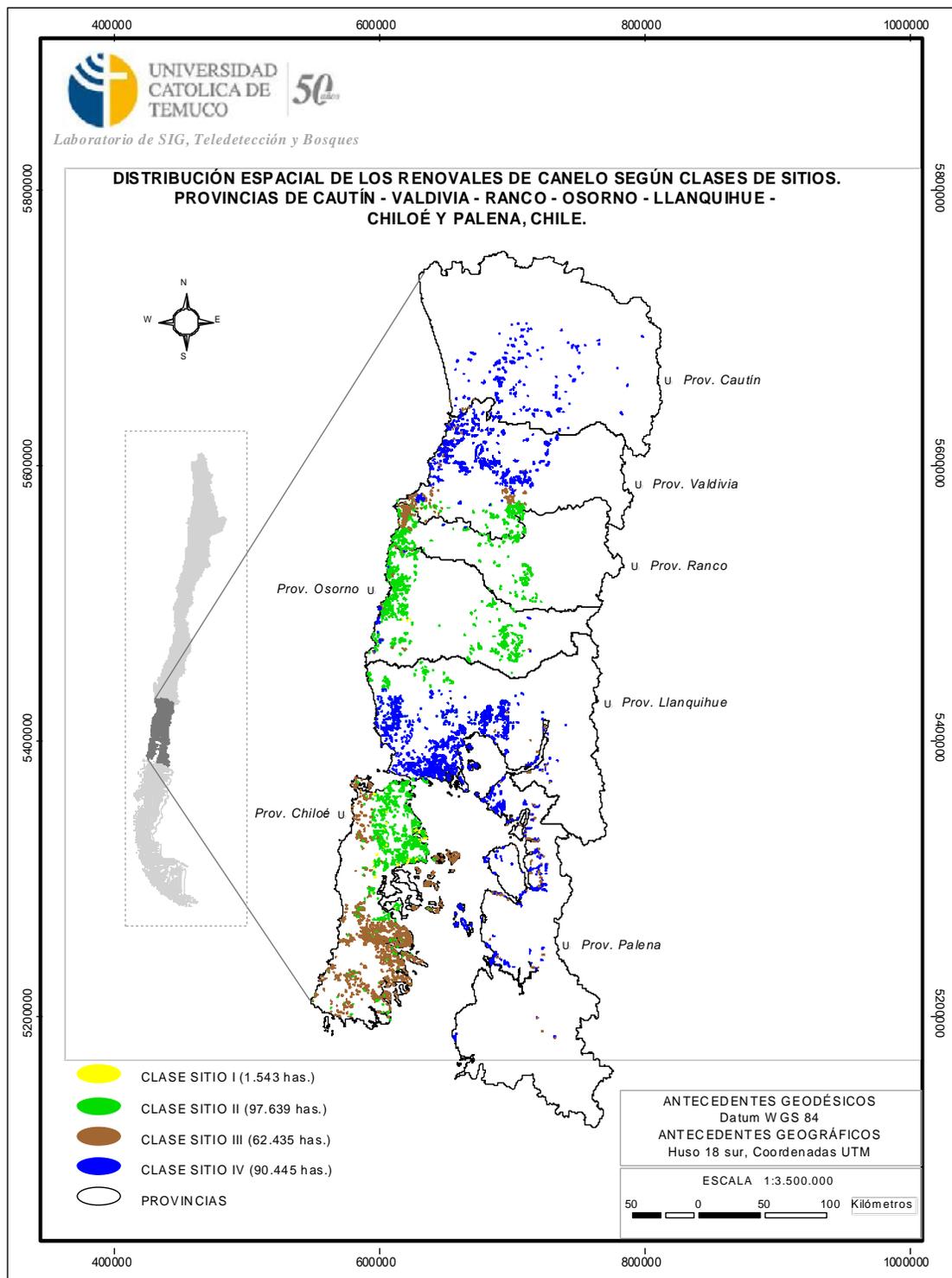


Figura 2-9. Superficie y distribución de renovales de *D. winteri* por clase de drenaje.

Tabla 2-3. Superficie de renovales de *D. winteri* según clase de altitud, exposición, pendiente, drenaje y sitio.

Variable		R. Araucanía	R de los rios		R. de los Lagos				Total general
		Cautin	Valdivia	Ranco	Osorno	Llanquihue	Chiloé	Palena	
Altitud	0-200 m	6.358	22.086	6.986	10.068	48.584	67.185	14.013	175.280
	200-400 m	2.693	8.719	7.898	11.339	10.779	6.403	1.503	49.334
	400-600 m	313	3.991	3.267	4.257	3.618	1.457	1.027	17.931
	600-800 m	83	956	960	3.412	583	111	529	6.635
	800-1000 m	-	-	453	1.914	172	-	273	2.811
	1000-1200 m	-	-	-	-	46	-	15	60
	1200-1400 m	11	-	-	-	-	-	-	11
	Total general	9.457	35.752	19.563	30.991	63.782	75.156	17.360	252.062
Exposición	Plano	8.348	26.101	13.009	18.941	55.922	66.533	11.241	200.094
	Norte	588	4.531	4.486	7.956	4.100	4.143	3.649	29.453
	Sur	522	5.119	2.069	4.094	3.760	4.480	2.470	22.514
	Total general	9.457	35.752	19.563	30.991	63.782	75.156	17.360	252.062
Pendiente	0-15%	8.348	26.101	13.009	18.941	55.922	66.533	11.241	200.094
	15-30%	849	7.808	4.867	9.232	6.223	7.739	3.091	39.809
	30-45%	229	1.784	1.520	2.471	1.184	755	902	8.844
	45-60%	21	59	168	282	197	119	420	1.266
	60-100%	10	-	-	66	257	11	1.333	1.676
	> 100%	-	-	-	-	-	-	373	373
	Total general	9.457	35.752	19.563	30.991	63.782	75.156	17.360	252.062
Drenaje	Bueno	-	8.302	15.734	24.851	18.351	2.165	-	69.404
	Excesivo	-	-	-	4.502	698	21.048	-	26.248
	Imperfecto	9.457	20.875	10	1.312	12.087	51.882	17.360	112.983
	Moderado	-	4.239	3.728	325	-	62	-	8.354
	Muy pobre	-	1.833	92	-	19.278	-	-	21.203
	Pobre	-	502	-	-	13.368	-	-	13.870
	Total general	9.457	35.752	19.563	30.991	63.782	75.156	17.360	252.062
Sitio	I	-	-	-	96	-	1.447	-	1.543
	II	-	15.734	8.302	29.258	19.049	25.296	-	97.639
	III	261	3.728	5.517	761	726	48.413	3.028	62.435
	IV	9.197	101	21.932	876	44.007	-	14.332	90.445
	Total general	9.457	19.563	35.752	30.991	63.782	75.156	17.360	252.062

2.12 Distribución espacial de bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* según clase de cobertura y altura para la definición de clases de homogeneidad.

Los resultados de superficie según clase de altura para los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* indican que la mayor superficie se ubica en la clase de 8 a 12 m con 100.851 ha equivalente al 40% de la superficie de estos bosques. La clase de altura 4 a 8 m representa el 38% del total con 95.774 ha. y en menor superficie se encuentran las clases de altura 2 a 4 m y 12 a 20 m con 27.853 ha y 27.583 respectivamente (tabla 2-4, figura 2-10).

La distribución de los renovales de *D. winteri* según clases de cobertura está representada mayoritariamente por renovales semidensos y densos, cuyas superficies abarcan 119.996 ha para el primero y 101.486 para el segundo; en una menor superficie está la categoría de renoval abierto con 30.599 ha (tabla 2-4, figura 2-11)

Tabla 2-4. Superficie de bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* por clase de altura, clase de cobertura a nivel de región y provincia

Variable	R. Araucanía	R de los Rios			R. de los Lagos			Total general	
	Cautin	Valdivia	Ranco	Osorno	Llanquihue	Chiloé	Palena		
Altura	2-4 m	1.398	12.301	3.940	1.198	4.188	156	4.672	27.853
	4-8 m	2.868	33.514	22.093	6.530	6.857	6.132	17.781	95.774
	8-12 m	3.939	26.097	30.640	15.241	5.793	9.884	9.257	100.851
	12-20 m	1.252	3.245	7.110	8.022	523	3.391	4.041	27.583
	Total general	9.457	75.156	63.782	30.991	17.360	19.563	35.752	252.062
Cobertura	Renoval Abierto	1.267	2.008	2.166	3.271	12.602	8.481	804	30.599
	Renoval Denso	4.996	10.136	9.731	20.400	27.676	24.044	4.503	101.486
	Renoval Semidenso	3.194	23.608	7.666	7.319	23.504	42.631	12.053	119.976
	Total general	9.457	35.752	19.563	30.991	63.782	75.156	17.360	252.062

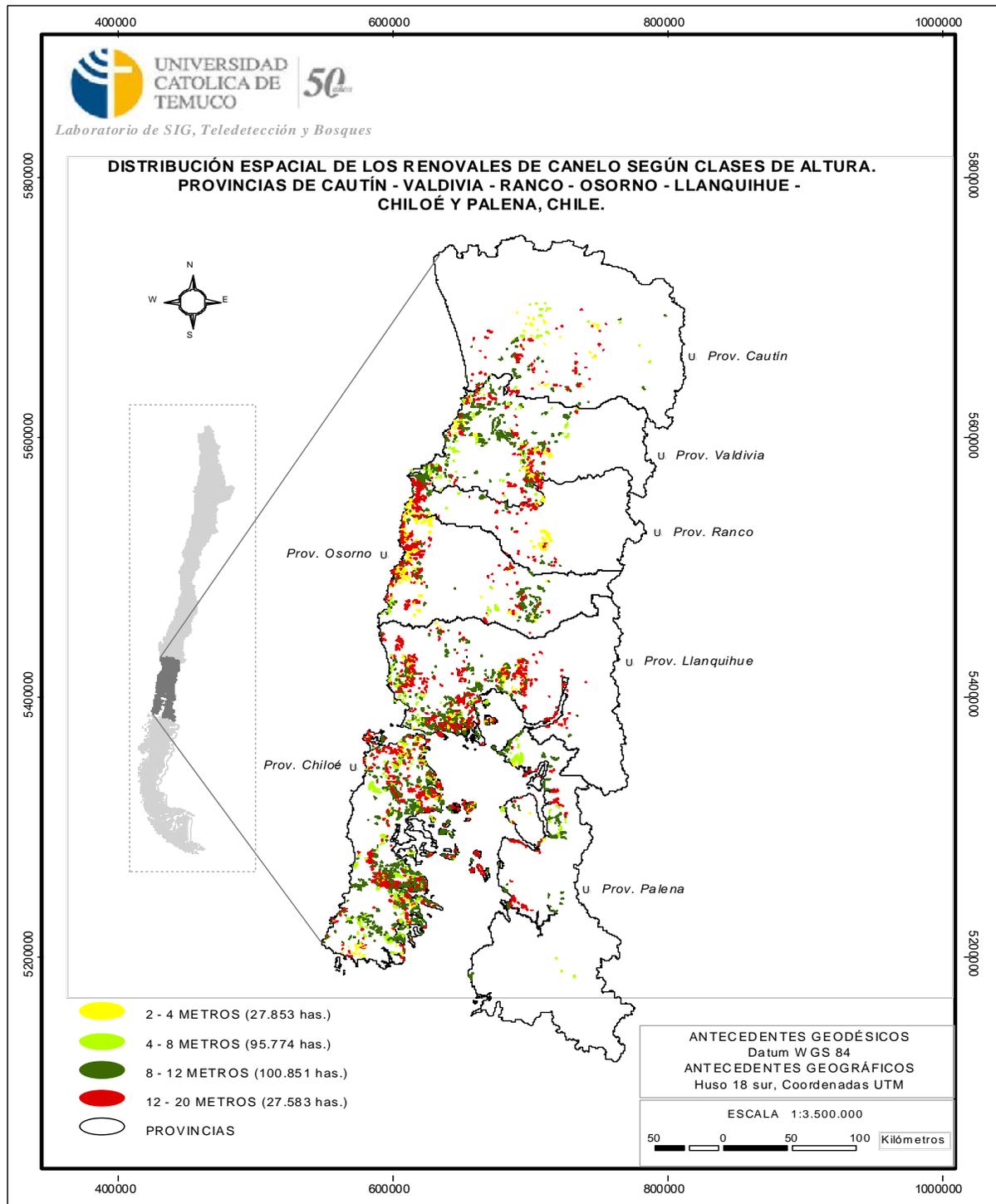


Figura 2-10. Superficie y distribución de renovales de *D. winteri* por clase de altura.

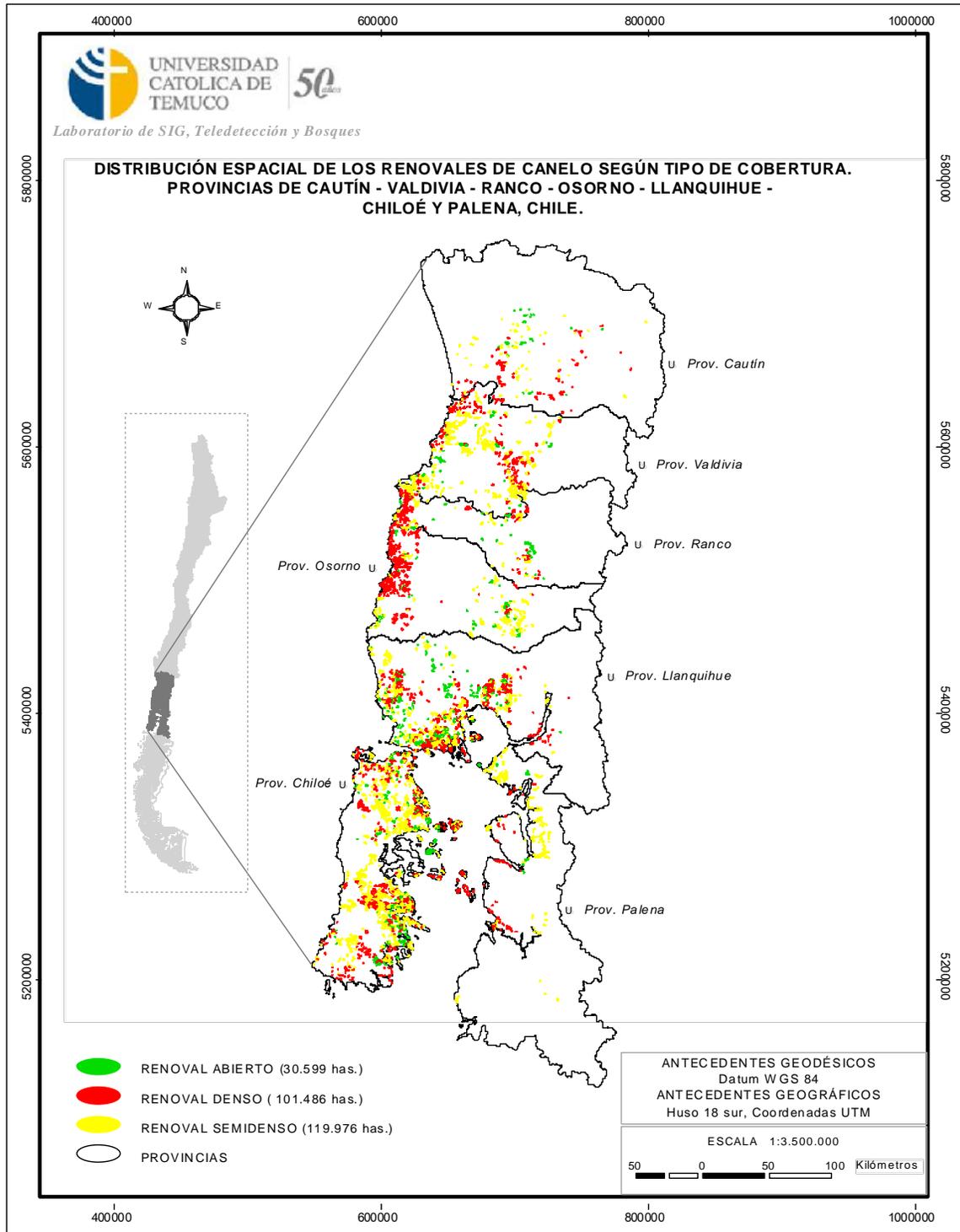


Figura 2-11. Superficie y distribución de renovales de *D. winteri* por clase de cobertura.

La superficie de bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* por clase de homogeneidad (clase de altura por clase de cobertura), determinó que aquellos bosques densos de 4 a 8 m cubren la mayor superficie con un 26%, en segundo lugar están los bosques densos de 8 a 12 m con un 24% y en tercer lugar los bosques semidensos de 8 a 12 m con un 13%, equivalentes en términos de superficie a 64.373 ha, 60.041 ha y 33.593 ha respectivamente. Del 37% restante el 8% corresponde a bosques densos de 4 a 8 m, el 7% bosques densos de 12 a 20 m y semidensos de 2 a 4 m con el 6% de superficie. De los bosques abiertos que cubren el 12% destaca la clase 4 a 8 m con el 5% (tabla 2-5 y anexo 2-1).

A nivel regional, la Región De Los Lagos presenta la mayor superficie de la clase renoval denso de 8 a 12 m. con un 17,4%, equivalente a 44 mil ha; en segundo lugar se ubica los renovales semidenso de 8 a 12 m con una cifra similar del 17%. Por su parte la Región De Los Ríos la mayor superficie de renovales corresponden a los semidenso de 4 a 8 m con 8.42% y el denso de 8 a 12 m con superficie equivalente a 21 mil y 14 mil ha respectivamente.

A nivel provincial destacan las provincias de Chiloé, Llanquihue y Valdivia con las siguientes superficies según clase de homogeneidad: en primer lugar Chiloé presenta el 8,71% de bosques semidensos de 4 a 8 m.; en segundo lugar los bosques densos de 8 a 12 m. con el 6,58% ubicados en la provincia de Llanquihue, en tercer lugar la provincia de Valdivia con bosques semidenso de 4 a 8 m. En cuarto lugar en Chiloé se ubica el semidenso 8 a 12 m. con 5,33%, en quinto lugar renoval denso 8 a 12 m de la provincia de Osorno con 4.79%, en sexto lugar renoval denso de 8 a 12 m con 4,72% en la provincia de Chiloé y finalmente en séptimo lugar se ubican los renovales semidenso de 4 a 8 m en la provincia de Llanquihue; estas clases alcanzan el 45 % de los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri*, y del 55% restante de las clases de homogeneidad ninguna alcanzan el 4 % de participación.

Capítulo 2. Estudio de caracterización espacial de renovales de *D. winteri* en Chile para la determinación exploratoria de áreas de gestión silvícola.

Tabla 2-5. Superficie por clase de homogeneidad de bosque de segundo crecimiento de *D. winteri* a nivel de región y provincia. Ch: clase de homogeneidad.

Variables	CH	R. Araucanía	R. de Los Rios			Región de los Lagos			Total	
		Cautín	Valdivia	Ranco	Osorno	Llanquihue	Chiloé	Palena		
Renoval Denso	2-4 m	1.4	236	1.930	-	-	820	2.805	-	5.791
	4-8 m	1.3	1.921	1.217	669	1.285	5.970	6.923	1.103	19.088
	8-12 m	1.2	2.291	6.152	7.746	12.070	16.589	11.897	3.297	60.041
	12-20 m	1.1	548	836	1.316	7.046	4.297	2.420	102	16.565
	Total	-	4.996	10.136	9.731	20.400	27.676	24.044	4.503	101.486
Renoval Semidenso	2-4 m	2.4	57	1.621	24	856	1.988	6.927	4.121	15.594
	4-8 m	2.3	947	16.112	5.100	3.460	11.361	21.945	5.448	64.373
	8-12 m	2.2	1.649	2.864	1.620	2.519	9.386	13.437	2.118	33.593
	12-20 m	2.1	541	3.012	921	484	770	322	365	6.415
	Total	-	3.194	23.608	7.666	7.319	23.504	42.631	12.053	119.976
Renoval abierto	2-4 m	3.4	1.105	1.121	132	342	1.132	2.569	67	6.468
	4-8 m	3.3	-	451	363	1.785	4.762	4.645	305	12.313
	8-12 m	3.2	-	241	517	652	4.665	764	377	7.216
	12-20 m	3.1	163	194	1.154	492	2.043	502	55	4.603
	Total	-	1.267	2.008	2.166	3.271	12.602	8.481	804	30.599

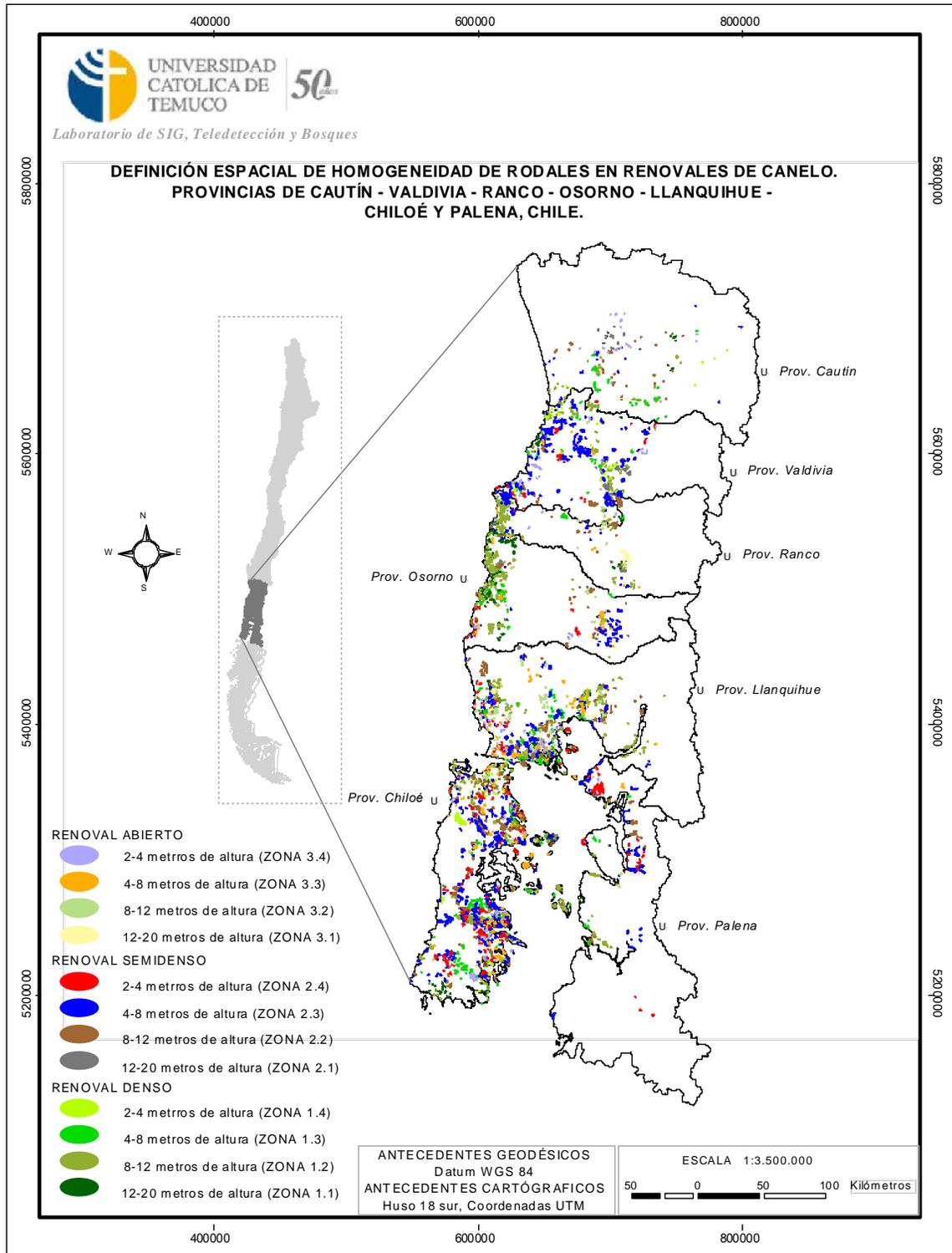


Figura 2-12. Superficie y distribución de renovales de *D. winteri* por clase de homogeneidad de rodales.

2.13 Zonas de gestión silvícola

La combinación de los cuatro sitios y las doce clases de homogeneidad definidas, generan 48 unidades potenciales de gestión silvícola (UGS) (anexo 2-1). Estas unidades de gestión silvícola potencial se redujeron a 11 sobre la base de su importancia en superficie, potencial productivo representado por el sitio y condición de estructura, indicando para cada una de ellas su objetivo de uso, maderable o no maderable, que para este último considera fundamentalmente servicios ecosistémicos y paisaje (tabla 2-6).

El estudio centra la discusión desde el punto de vista de la gestión silvícola en aquellos bosques en estado de monte bravo, latizal y fustal delgado de los sitios I y II con cobertura semidensa y densa, que representan el potencial productivo para la industria de la madera de mayor calidad y como producto secundario derivado de los raleos y podas se produce madera para energía, lo cual bien realizado, no es excluyente de la producción de servicios. Para las unidades de los sitios IV y III se indica solamente su uso potencial y caracterizan en términos generales.

Las unidades de gestión silvícola se definieron de acuerdo a los siguientes criterios:

1. Bosques en sitios de mayor productividad se orientan a producción de trozas de alto valor con una silvicultura intensiva (1 y 2).
2. Bosques en sitios de menor productividad se definen para uso no maderable (4).
3. Bosques en sitios de productividad media (3) se orientan a producción de trozas de menor valor para la industria de tableros o energía
4. Bosques densos y semidensos en estado de monte bravo, latizal y fustal, prioridad de manejo productivo maderable.

5. Bosques abiertos en estado de monte bravo, latizal y fustal prioridad recuperación.

Las zonas de gestión potencial presentan las siguientes características:

a) La Zona 1, corresponde a bosques con un índice de sitio I, tipo de cobertura boscosa denso y semidenso y con alturas dominantes entre las clases 8-12 y 12-20 m, edades aproximadas de 16 a 35 años e incluye estados de desarrollo de monte bravo, latizal y de fustal delgado.

b) La Zona 2, corresponde a bosques con índice de sitio I, tipo de cobertura boscosa denso y semi denso, con alturas dominantes entre las clases 2-4 y 4-8 m, edades que varían de de 5 a 15 años e incluye estados de desarrollo de brinzal y monte bravo.

c) La Zona 3, corresponde a bosques con índice de sitio I y II, tipo de cobertura boscosa abierto y con alturas dominantes entre las clases 4-8 y 12-20, edades entre 8 a 30 años e incluye estados de desarrollo de monte bravo, latizal y de fustal delgado.

d) La Zona 4, corresponde a bosques con índice de sitio II, tipo de cobertura boscosa denso y semidenso con alturas dominantes entre las clases 4-8 y 12-20 m, pero no superior a 16 m y edades mayores a 15 años e incluye estados de desarrollo de monte bravo y latizal.

e) La Zona 5, corresponde a bosques con índice de sitio II, tipo de cobertura boscosa denso y semidenso con alturas dominantes entre las clases 2-4 y 4-8 m o edades entre 7 a 15 años e incluye estados de desarrollo de brinzal.

f) La Zona 6, corresponde a bosques con índice de sitio III, tipo de cobertura boscosa denso y semidenso con alturas dominantes entre las clases 4-8 y 12-20 m, pero no mayores a 16 m y edades mayores a 20 años e incluye estados de desarrollo de brinzal y latizal.

g) La Zona 7, corresponde a bosques con índice de sitio III, tipo de cobertura boscosa denso y semidenso con alturas dominantes entre las clases 2-4 y 4-8 m y edades entre 7 a 20 años e incluye estados de desarrollo de brinzal, monte bravo y latizal.

h) Zona 8, corresponde a bosques con índice de sitio III, tipo de cobertura boscosa abierto con alturas dominantes entre las clases 4-8 y 12-20 m, pero no mayores a 16 m. y edades mayores a 10 años e incluye estados de desarrollo de brinzal y latizal.

i) Zona 9, corresponde a bosques con índice de sitio IV, tipo de cobertura boscosa denso y semidenso y presentan alturas dominantes entre las clases 8-12 y 12-20 m, pero no mayores 14 m y edades mayores a 30 años e incluye estados de desarrollo de monte bravo y latizal.

j) Zona 10, corresponde a bosques con índice de sitio IV, tipo de cobertura boscosa denso y semidenso con alturas dominantes entre 2 a 8 m o edades entre 6 a 30 años e incluye estados de desarrollo de brinzal y monte bravo.

k) Zona 11, con índice de sitio IV, tipo de cobertura abierto con alturas entre 2 a 20 m y edades mayores a 10 años, altura no mayor a 12 m e incluye estados de desarrollo de brinzal y monte bravo.

Tabla 2-6. Superficie y objetivos de producción por unidades potenciales de gestión silvícola.

Unidades potenciales de gestión (UGS)	Clase Sitio	Altura	Cobertura	Edad (1)	DMC (2)	Estado desarrollo	Superficie	Objetivo principal
1	I	12--20 8--12	Denso y semidenso	16 a 40	10--24	Fustal delgado	677	Producción de madera calidad.
				5 y 15	4--12	Latizal		
2	I	4--8 2--4 12--20	Denso y semidenso	6 y 10	5--8	Monte Bravo-Latizal	668	Producción de madera calidad.
				5	2--3	Brinzal		
3	I y II	8--12 4--8 2--4	Abierto	16 - >40	10-S/I	Fustal delgado	12.225	Producción de madera calidad.
				6--15	4--12	Monte Bravo-Latizal		
				5--10	4--8	Latizal		
4	II	12--20 8--12	Denso y semidenso	16 a 35	7--14	Latizal	54.926	Producción de madera calidad.
				>5 y<20	3--6	Monte Bravo		
5	II	4--8 2--4	Denso y semidenso	7 a 12	<6	Monte Bravo	30.686	Producción de madera calidad.
				4-7	<5	Brinzal		
6	III	12--20 8--12	Denso y semidenso	25--35	3--7	Monte Bravo-Latizal	23.153	Producción de energía.
				>11--30	3--6	Latizal		
7	III	4--8 2--4	Denso y semidenso	>5 y<15	<5	Monte Bravo	32.993	Producción de energía.
				5	<6	Brinzal		
8	III	12--20 8--12 4--8 2--4	Abierto	25--35	3--7	Monte Bravo-Latizal	6.287	Producción de energía.
			>11--30	3--6	Latizal			
			>5 y<15	2--5	Monte Bravo			
			5	2--4	Brinzal			
9	IV	12--20 8--12	Denso y semidenso	>35	6--10	Latizal	37.858	Preservación no madera.
				>25	5--8	Monte Bravo-Latizal		
10	IV	4--8	Denso y semidenso	15-25	3--5	Brinzal	40.500	Preservación no

Capítulo 2. Estudio de caracterización espacial de renovales de *D. winteri* en Chile para la determinación exploratoria de áreas de gestión silvícola.

11	IV	2--4	Abierto	5--15	1--3	Brinzal	12.086	madera.
		12--20		>35	S/I	Latizal		Preservación no madera.
		8--12		>35	S/I	Brinzal-Latizal		
		4--8		15-25	S/I	Brinzal		
		2--4		5-15	S/I	Brinzal		

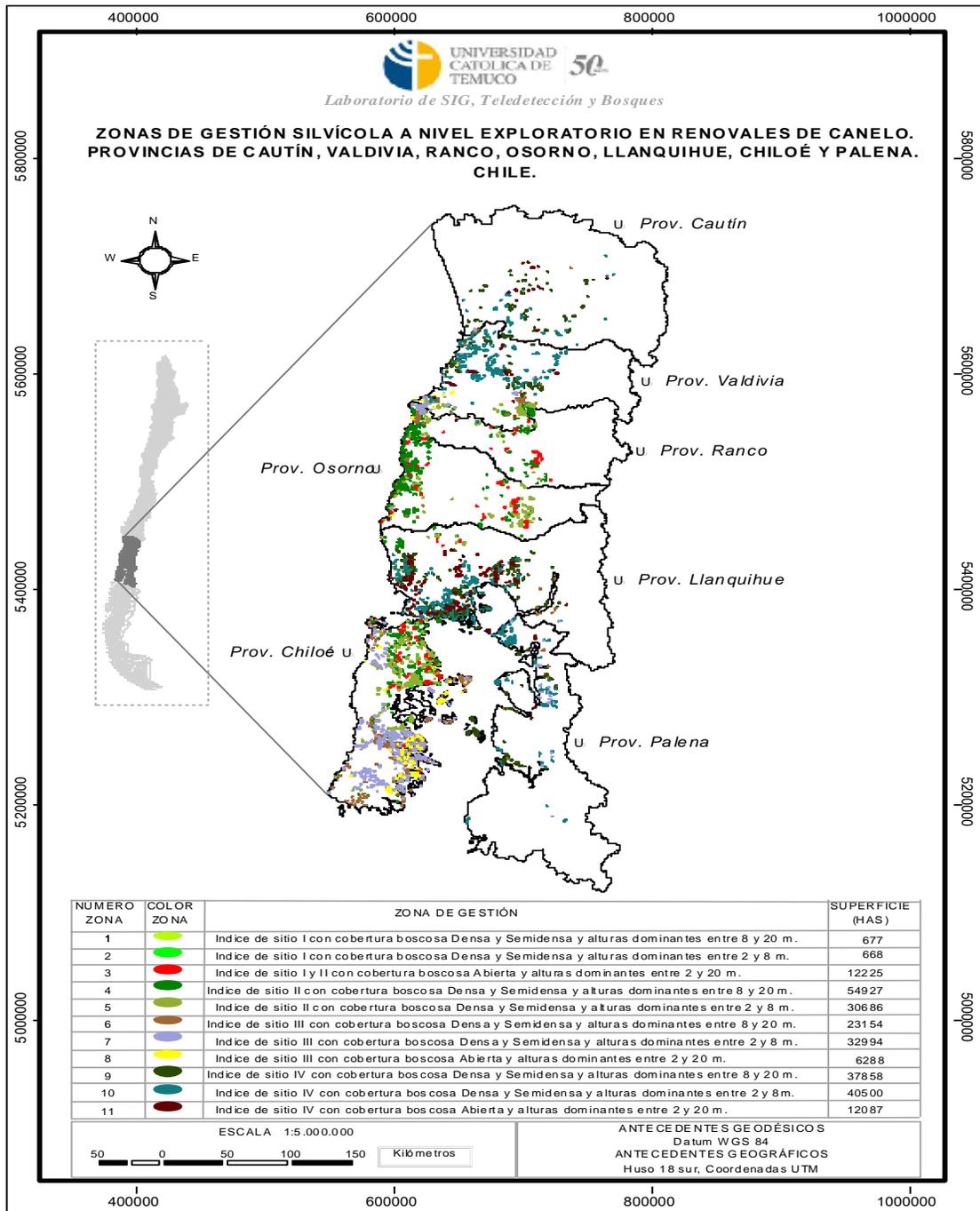


Figura 2-13. Zonas de gestión silvícola potencial a nivel exploratorio para bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* en Chile.

2.14 Integración del análisis espacial con el método silvícola.

Se presenta en este capítulo para un área representativa de la zona de gestión silvícola II un modelo de trabajo implementable para planificar y controlar tecnologías silvícola asociados a proyectos industriales multinivel, ya sea, predial, comunal o provincial. Para ello se incorporan medidas de densidad relativa e índices de homogeneidad de rodales que permiten asociar las tecnologías con niveles de ocupación de sitio, niveles de competencia y bosques meta.

El nivel uno, corresponde a la información contenida en las zonas de gestión silvícola:

Sector: Cordillera de la Costa de Valdivia.

Localidad Hueicolla: Paralelos 40° y 43°S y entre los meridianos 73° y 74°O.

Unidad de gestión silvícola IV: corresponde a un sitio II, con índice de sitio de 15 m, son bosques densos y semidensos, con productividad de 10m³/ha. año y estado de desarrollo de latizal.

Objetivo: producción de trozas debobinables y aserrables.

Superficie país: 15.000 hectáreas.

El nivel dos, corresponde a la información obtenida del muestreo de campo y resultados de proceso:

Edad promedio: 30 años.

Altura dominante: 13 metros. Sitio II.

Estado de desarrollo: bosques de segundo crecimiento denso correspondiente a fustal delgado.

Origen: Monte medio regular.

Composición de especies: bosques puros con 80% de participación de *D. winteri* en área basal y volumen. Especies acompañantes *Amomyrtus luma* (Mol.) y *Eucryphia cordifolia* (Cav.)

Calidad aparente: 40% árboles clase A, 25% clase B, 20% clase C y 15% clase D (Norma Chilena de Clasificación de Árboles en pie). (Anexo 2-1).

Parámetros dasométricos: 600 arb./ha; 350 m³/ha; 40 m²/ha; DMC: 12 cm; altura promedio 11 m.

Estructura diamétrica: exponencial negativa.

Productos: 0% debobinable; 30% aserrable y 70% energía.

Especies en peligro de extinción o raras por existencia : No hay.

El nivel tres incluye la propuesta silvícola, recomendando para efectos de monitorear la inversión en silvicultura, incorporar los siguientes indicadores de control de procesos y medida de los efectos de las tecnologías silvícolas : índice de densidad relativa de Curtis (IDR) (Curtis, 1971), Índice de homogeneidad de rodales (IHR) (De Camino, 1976), la tasa de aumento de valor del árbol de área basal media, la tasa de aumento de valor del bosque, indicador de medida de la diversidad y valor neto presente.

El ejemplo de aplicación de los indicadores considera un bosque meta que lo conforman 400 árboles/cosecha, que corresponden a un 20% de los árboles dejados en el primer raleo y un volumen meta de 350 m³/ha, distribuidos en un 70% de árboles grado A, índice de homogeneidad de rodal de valor 12, índice de densidad relativa de 45%. La propuesta corresponde a raleos por lo bajo moderados sucesivos o grado B (Nyland, 2002) manteniendo densidades relativas (IDR) inferiores de 30 y superiores de 45%, esto significa que cuando el rodal alcance un nivel de IDR de 45 debe ralearse a un nivel de 30%; mientras que aquellos rodales que se ubiquen entre 55% a 100 indican altos niveles de competencia y plena ocupación del sitio.

El índice de Homogeneidad de rodales (De Camino, 1976) permite estratificar rodales y planificar tecnologías silvícolas más precisas según el rango de valor alcanzado y la interpretación para la especie o grupo de especies que conforman el bosque. Para este ejemplo el índice se aplica a bosques coetáneos y se evalúa la homogeneidad en términos del efecto del tipo de raleo y el tiempo requerido para alcanzar una cifra meta. Se observaron cifras en los bosques no manejados de 3,0 a 5,50; en tanto que los bosques manejados presentaron valores de 6 a 11, demostrando la mayor homogeneidad de los tamaños de los árboles producto del manejo. De Camino (1976) señala que el raleo bajo, aumenta la homogeneidad de los rodales. Bosques sometidos a este tipo de raleos durante largo tiempo mostraron coeficientes entre 4.0 y 10, lo que coincide con el caso planteado. Lo anteriormente expuesto sugiere incorporar este indicador como variable de estratificación de los inventarios forestales y sobre esta base definir índices de homogeneidad meta y su relación con los otros indicadores recomendados, lo cual debe incorporarse como línea de investigación en bosques de segundo crecimiento en Chile.

El índice de diversidad de especie de Shannon-Wiener, mide la diversidad de especies, permite realizar comparaciones entre sitios con diferentes comunidades. Este índice oscila entre 1,5 y 3,5 y solo rara vez sobrepasa 4,5. Entre mayor sea el valor del índice, significa que el ecosistema es altamente diverso (Magurran 1988). Las intervenciones silvícolas deben incorporar para su monitoreo índices de diversidad, como un objetivo de la silvicultura, para lo cual es fundamental analizar el efecto del manejo del bosque sobre este atributo, el que debe ser monitoreado temporal y espacialmente. El valor del índice obtenido en el caso presenta cifras bajas de diversidad, en bosques sin manejo los índices variaron de 0,68 a 0,80 en un periodo de 21 años mientras que en los bosques manejados variaron post intervención de 0,24 a 1,05 en el mismo periodo; lo que implica que los raleos proyectados en el tiempo aumentaron la diversidad respecto de los bosques sin manejo (tabla 2-7).

Desde el punto de vista económico es fundamental incorporar la tasa de aumento del valor del bosque y el valor neto presente, para efectos de monitorear la inversión en silvicultura y poder tomar decisiones con enfoque integrado biológico-comercial. La tabla 2-7 presenta la importancia de aplicar manejo en estos bosques, alcanzado cifras de casi 4 veces respecto de no intervenirlos en términos de VNP y tasas de aumento de valor de 2,5 veces, siendo no excluyente de otros servicios del bosque. Esto implica realizar al menos cuatro raleos, donde se debe considerar el viento y calidad de anclaje de los árboles para evitar pérdida de volumen. La corta final es una corta de protección en fajas o en huecos, realizada a lo menos a la edad de 80 años, generando un VNP de US\$/ha 2.500 y una TIR de 14%. (Navarro *et al.* 2010).

Tabla 2-7. Ejemplo de uso de indicadores de control de procesos silvícolas para la zona de gestión silvícola ii: estudio de caso, resultados después de 21 años de realizados ensayo de raleo en la Cordillera de la Costa de Valdivia-chile correspondiente al año 2007.

Tratamiento	Índice de Homogeneidad de Rodales. De Camino (1976)	Índice de Densidad Relativa (Curtis, 1971) 1986-2007	Índice de Diversidad Shannon-Wiener 1986- 2007	Tasa de aumento de valor del bosque (1). (86-2007)	Valor Neto Presente (86-2007) US\$/ha
Sin manejo	2,90 – 5,0	0,61-0,64	0,68 - 0,80	3%	641
Raleo fuerte	5,60- 11,0	0,23-0,43	0,24 - 1,05	8%	2.300

2.15 Discusión.

Los bosques de *D. winteri* se ubican principalmente en la Cordillera de la Costa y Valle Central de Chile en zonas con fuerte alteración antrópica, abarcando una amplitud latitudinal de 700 kilómetros y longitudinal de 100 kilómetros, indicando que la especie se desarrolla en condiciones microclimáticas, fisiográficas y de sitio diversa, esto produce diferentes niveles de productividad, que en un marco de ordenación forestal debe precisarse y materializarse como unidades ambientales homogéneas, las que integradas a condiciones particulares de estructura de bosques definen las unidades potenciales de gestión silvícola.

Los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* se encuentran en estados de desarrollo de monte bravo, latizal y fustal delgado, encontrándose que el 40% presentan alturas entre 8 a 12 metros. Dominan los bosques densos y semidensos, lo que indica la menor presión de uso por este recurso, concentrándose los bosques abiertos en las zonas de Llanquihue y Chiloé, que son los que tienen una mayor accesibilidad. Esta condición releva las cortas intermedias tipo raleo como opción de intervención prioritaria, particularmente en los mejores sitios.

La integración de la clase de altura y nivel de cobertura, indica que los bosques denso de 4 a 12 metros cubren el 40% de la superficie, es decir, alcanzan las 80 mil hectáreas y corresponden a las etapas de desarrollo de monte bravo y latizal; en tanto los bosques semidensos de 4 a 12 metros de altura alcanzan el 50%. Basado en estos elementos las tecnologías silvícolas son factibles de normalizar; no obstante, la variabilidad de sitios donde se desarrollan producen también variabilidad en su productividad, factor relevante para definir los objetivos de producción y la tecnologías asociadas. Al respecto, INFOR (2008) señala que para estas estructuras son aplicables cortas de liberación, cortas de limpieza, raleos y podas.

Respecto a los factores que explican las distintas productividades, se determinó que los mejores sitios se presentan a medida que aumenta la latitud, alcanzando un

máximo en la zona de la Costa de Osorno Llanquihue y Chiloé, y un mínimo en las zonas extremas del área de estudio, Cautín y Palena. Lo cual podría explicarse por la menor humedad de los suelos y mayores oscilaciones térmicas en los extremos de su distribución; en la Araucanía por las menores precipitaciones y lejanía del mar y en Palena por las temperaturas extremas incluso tipo nieve y la mejor permeabilidad de los suelos. Este último factor se asocia a factores de variación geográfica, tales como la latitud, la fisiografía y la cercanía al mar de estos bosques. El análisis realizado asocia una menor oscilación térmica a mayor latitud, con cifras anuales extremas de 6°C en Chiloé y de 13°C en Temuco, mientras que en Osorno y Puerto Montt alcanza a 12°C y 10°C respectivamente. Este patrón lo explica la cercanía al mar de estos bosques en la zona de Chiloé y de Puerto Montt, como lo plantea Donoso (1981) ya que las masas de agua se enfrían y calientan más lentamente que la tierra, lo que explica la menor oscilación térmica de lugares con influencia oceánica; lo cual coincide con lo planteado por Calquín (1987) quien indica que las mayores productividades se encuentran en Chiloé, territorio que presenta mayores niveles de precipitación, temperaturas más templadas, con una oscilación térmica anual baja cercana a 6°C por la cercanía al Océano Pacífico.

En términos fisiográficos los bosques de *D. winteri* se ubican preferentemente en terrenos planos, con pendientes menores a 15% y en altitudes bajo los 200 m.s.n.m.; lo cual sugiere que estos factores, dada su menor amplitud o variabilidad, no explicarían las diferencias de productividad e índice de sitio para la especie. En este sentido, Donoso (1981) señala que la topografía del lugar es uno de los factores más importantes conformadores de microclimas, y en Chile, país extremadamente montañoso, las pendientes que miran hacia el norte reciben mayor cantidad de luz y por lo tanto tienen mayor temperatura que las exposiciones sur durante todo el año, en éstas últimas gran parte de la luz recibida es difusa, condición que permite que la tasa de fotosíntesis aumente a tasas más rápida que las tasas de respiración, condición no relevante para estos bosques por su ubicación mayoritaria en terrenos planos.

La información espacial de variables fisiográficas generada a partir de los datos disponibles, demuestra la necesidad de mejorar los datos base, especialmente aquellos que requieren modelos de elevación digital para su construcción, de manera de contar para la planificación silvícola de productos espaciales fisiográficos más precisos, lo cual hoy en día es factible de implementar con datos obtenidos de sensores como LIDAR (Light Detection and Ranging), lo cual ayudaría a maximizar el potencial de uso de estos bosques.

Los suelos, dada la amplia distribución de la especie donde se desarrolla, son variados pero siempre relacionado con humedad permanente. En general son de origen sedimentario en la Depresión Intermedia, metamórficos en la C. Costa y Chiloé y suelos graníticos y en particular de origen volcánico en la Cordillera de los Andes (Donoso, 1993), corresponden a suelos de un trumao típico a un ñadi y tienen una historia de uso antrópico, que afecta la productividad que es necesario señalar. Los fenómenos de compactación, ya sean superficiales o sub-superficiales, limitan el volumen de exploración radicular, y de esta forma controlan indirectamente el abastecimiento de agua, oxígeno y nutrientes (Fernández *et al.* 1995). Basado en los estudios de Calquín (1987) y Balharry (1984), respecto al suelo, destacan que los factores que explican la productividad de esta especie son el drenaje, exposición local y pendiente local. Indicando que en sectores con adecuados regímenes de humedad y efecto moderado del viento, produce una menor tasa de transpiración y corresponden a sectores con una mayor productividad. Las exposiciones planas y aquellas con influencia norte son las que presentan mayores productividades, explicado por la mayor insolación, ya que el agua no es un factor limitante.

El drenaje es el factor de mayor importancia que explica la productividad de los bosques de *D. winteri*, éstos se ubican principalmente en suelos de drenaje imperfecto y de mal drenaje; la mitad de ellos se desarrollan sobre suelos de drenaje imperfecto y casi un tercio en suelos de drenaje bueno, los primeros localizados en las Regiones de Los Lagos y De Los Ríos, mientras que la segunda clase se ubica preferentemente en la zona de Chiloé. Los suelos de drenaje

imperfecto se asocian a terrenos planos y se caracterizan por presentar capas lentamente permeables dentro del pendón, presentan niveles freáticos altos y llega hasta la parte inferior del horizonte B, permitiendo como lo indica Donoso y Lara (1999) el desarrollo normal de las especies de raíces superficiales y el ciclo de nutrientes, visualizándose el moteado desde los 60 a 80 cm. Los suelos de mal drenaje característico de estos bosques, que incluyen a los de drenaje muy pobre y pobre, son los típicos suelos ñadis y representan los sitios de peor calidad de la especie, se caracterizan por estar frecuentemente inundados, debido al nivel freático alto, o presencia de capas de baja permeabilidad. Los suelos de buen drenaje se caracterizan por la ausencia de moteado antes de 1,5 m. y retienen cantidades óptimas de humedad para el crecimiento de las plantas y corresponden específicamente a suelos trumaos; estos podrían asociarse a los mejores sitios para canelo, sin embargo ello no ocurre, debido en parte, a que la especie requiere de humedad permanente en el suelo, esto es presencia de drenaje imperfecto a moderado para su buen desarrollo e influencia oceánica.

Los disturbios que dan origen a los bosques de *D. winteri* son talas rasas, talas rasas y posterior incendio de los desechos para habilitar terrenos para la agricultura y ganadería, los cuales son abandonados posteriormente. Estos afectan al sitio, la habilitación agrícola específicamente a nivel del suelo produce una alta compactación producto de largos periodos de cultivo, conformándose un pie de arado que dificulta el enraizamiento. En tanto el segundo produce muchas veces un aumento del drenaje en el suelo, lo que facilita el establecimiento de especies como *A. luma* y *N. nitida*. Los efectos de la compactación originada por tala rasa, y el posterior uso agrícola del suelo, pueden mermar significativamente la productividad de un bosque (Monroy Fernández *et al.* 1995; Gerding, 2009).

Las unidades de gestión silvícola resultante de la integración de sitio y clases de homogeneidad, permiten acentuar el potencial productivo de estos bosques, determinando 90 mil hectáreas para la producción de madera de alta calidad, las que se caracterizan por presentar estados de desarrollo de monte bravo y latizal, correspondientes a sitios I y II, con coberturas densas y semidensas y clases de

altura de 4 a 20 metros que se ubican principalmente en Chiloé, Llanquihue, Osorno y en menor medida la Costa de Valdivia. No se determinaron prácticamente bosques en los sitios I, ubicando tan solo 1.500 hectáreas, localizadas en Chiloé y Costa de Osorno. Y existe una cifra cercana a las 90 mil hectáreas de bosques de preservación, que corresponden fundamentalmente a sitios clase IV; con coberturas densas, semidensas y abiertas y clases de altura de 4 a 20 m., presentan estados de desarrollo de brinzal, monte bravo y latizal y corresponden a sitios de alta fragilidad y de muy baja productividad.

En un nivel intermedio de productividad existen 60 mil hectáreas, que es factible de orientarlas a la producción de energía y tableros, que presentan principalmente estados de desarrollo de monte bravo y latizal, clases de coberturas densas y semidensas y clases de altura de 4 a 20 metros. Al respecto, Urzúa y Poblete (1980) en un estudio sobre fabricación de tableros de partículas determinaron que una de las especies del Tipo Forestal Siempreverde más favorables es *D. winteri*, junto a *N. dombeyi* y *S. conspicua*.

En el marco de la ordenación forestal, a cada unidad de gestión se le asocia una tecnología silvícola, que va a depender su asignación fundamentalmente de aspectos comerciales, del estado del bosque y de la capacidad del propietario para movilizar recursos, como lo plantea Acuña y Drake (2003). En este sentido, para efectos de comunicar a los actores del negocio forestal el estado de sus bosques, es relevante incorporar índices que simplifiquen la toma de decisiones y que dé cuenta de su condición y complejidad de este recurso. Este estudio sugiere incorporar índices de tipo silvícola (a) y económico-financiero (b): a) de los primeros, destacan el índice de diversidad (Shannon-Wiener) para que sea incorporado como restricción en el diseño silvicultural, un segundo índice que permite conocer los niveles de uso de la capacidad de carga del sitio, los niveles de competencia y estados de desarrollo, correspondiente al índice de Curtis (1971), el índice de sitio y un cuarto que permite determinar niveles de homogeneidad de bosques, como el planteado por De Camino (1976); b) de los segundos, destacamos el volumen de productos según Norma Chilena, la tasa de aumento de valor del árbol de área

basal media, la tasa de aumento de valor del bosque, el valor neto presente y la tasa interna de retorno.

De acuerdo al valor de IHR, asociado a la etapa de desarrollo y sitio es factible a nivel de rodal planificar y controlar intervenciones silvícolas y asociarlo a niveles de densidad relativa (IDR), diversidad (ID) y valor del bosque (VB). Al respecto, De Camino (1976) señala que para bosques coetáneos es factible encontrar cifras de 2,2, a 10 de IHR, e indica que en *Fagus Sylvatica*, los raleos redujeron el IHR de 3,90 a 2,20 a pesar de ser bosques coetáneos, lo que ocurre al aplicar raleos por lo alto. En este estudio se recomienda utilizar un IHR de 10 a 12 como objetivos de homogeneidad silvícola, lo cual coincide con lo planteado por De Camino (1976).

Los bosques de *D. winteri* presentan bajos niveles de diversidad, alta homogeneidad, niveles de sobre utilización de sitios, altos niveles de competencia y estados de desarrollo de monte bravo y latizal. Están creciendo a una tasa de aumento de valor del bosque de 3% sin manejo en los sitios de productividad media para los estados de desarrollo de fustal y alcanzan un VAN de 641 US\$/ha a los 30 años, correspondiente a índices de sitios de 16 metros.

2.16 Conclusiones.

1. La superficie de los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* cubren una superficie de 252.000 hectáreas y se ubican en la Cordillera de la Costa y Depresión Intermedia en una extensión de 700 kilómetros, desde el paralelo 39° a 43° de latitud Sur.
2. Los bosques de *D. winteri* se ubican en zonas de clima templado con influencia oceánica, de alta pluviometría sobre terrenos planos, con altitudes bajas menores a 400 m.s.n.m y suelos con drenajes imperfectos a pobres.
3. Los sitios de mayor productividad corresponden a sectores con fuerte influencia oceánica, terrenos planos, de pendientes menores a 15%, altitudes menores a 200 m.s.n.m y drenaje excesivo y bueno, localizados en la parte norte de la Isla de Chiloé y Cordillera de la Costa de Osorno. Los sitios de productividad muy baja presentan un drenaje pobre a muy pobre y se ubican principalmente en las provincias de Llanquihue, Ranco y Palena.
4. De los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* el 1% de la superficie corresponden a sitios de alta productividad, el 39% a sitios de productividad media, el 25% presenta una productividad baja y el 36% corresponde a sitio de productividad muy baja.
5. Los bosques de canelo se encuentran en estados de desarrollo de monte bravo, latizal y fustal delgado, dominando las clases de altura de 4 a 12 metros y coberturas densas y semidensas.
6. Se determinaron 11 zonas potenciales de gestión silvícola, de las cuales 100 mil hectáreas son asignables a la producción de trozas de calidad para la industria de chapas y aserrío, 60 mil hectáreas potenciales para la industria de la energía y tableros y 90 mil hectáreas orientadas a los servicios ecosistémicos no madera.

7. El estado actual de desarrollo de los bosques de segundo crecimiento requiere para las zonas de gestión silvícola orientadas a la producción de trozas de calidad, realizar al menos cuatros raleos para aquellos en etapa de monte bravo y latizal; mientras que aquellos en estado de fustal delgado se requiere rotaciones no menores a 80 años y aplicar al menos tres raleos.

8. La planificación y monitoreo de actividades silvícolas ordenadas en el tiempo y el espacio requiere para su gestión indicadores simples y significativos, que den cuenta de la complejidad biológica de los bosques, de las demandas de la sociedad y de la sostenibilidad financiera. Para ello se sugieren incorporar para la gestión de los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* los siguientes índices e indicadores: el índice de densidad relativa de Curtis, el índice de Shannon Wiener, el índice de homogeneidad de rodales, la existencia de productos según normas nacionales o internacionales, la tasa de aumento de valor del árbol, la tasa de aumento de valor del bosque, el valor neto presente y la tasa interna de retorno.

2.17 Bibliografía.

- Acuña, E., Drake, F. (2003).** Análisis del riesgo en la gestión forestal e inversiones silviculturales: una revisión bibliográfica. *Bosque* 24 (1): 113 – 124
- Aguiló, M. (1998).** Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Altun L, Zeki, E., Gunlu, A., Kadiogullari, A. (2008).** Classification and mapping forest sites using geographic information system (GIS): a case study in Artvin Province. *Environ Monit Assess* 137:149–161
- Alvarez, J. (1998).** Mejoramiento de productividad de plantaciones de Pino radiata y Eucaliptos en Forestal Mininco S.A. (Chile). Disponible en <http://www.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/1998/78%20Alvarez3.df>.
- Balharry, R. (1984).** Estudio de la estructura y composición de los renovales de canelo en el fundo Lenca (X Región). Tesis Ing. For. Santiago. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. 167 p.
- Bormann, F. Likens, E. (1979).** Pattern and Process in a Forested Ecosystem. Springer-Verlag New York Inc. 253 p.
- Cabello, J. (2002).** Bases Conceptuales De La Ordenación De Bosques. Disponible en www.chilebosquenativo.cl/info_documentos/info_ordenacion_2.htm
- Calquin, R. (1987).** Índices y clases de sitio para canelo (*Drimys winteri* Forst) en la X Región. Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago, 92 p.
- Carey A, Curtis, R. (1996).** Conservation of biodiversity: a useful paradigm for forest ecosystem management. *Wildlife Society Bulletin*. 24:610-620.

CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). (2002). Descripciones de suelos y materiales y símbolos estudio agrológico IX región. CIREN N°122. 360 p.

CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL), **CONAMA** (Comisión Nacional del Medio Ambiente, CL). **(1997).** Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales. Santiago, Chile. 88 p.

Corvalán P., Araya, L., Jimenez, P . (1986). El Canelo: Una Alternativa De Desarrollo Para La Decima Region. Universidad De Chile Facultad De Ciencias Agrarias Y Forestales Departamento De Manejo De Recursos Forestales Ministerio De Agricultura Fondo De Investigacion Agropecuaria 78 p.

Curtis, R. (1971). Tree Area Power Function and Related and Density Measures for Douglas-Fir. *Forest Science* 17: 146-159.

Cruz Johnson, P., Honeyman, P., Caballero, C. (2005). Propuesta metodológica de ordenación forestal, aplicación a bosques de lenga en la XI Región. *Bosque*, 26 (2): 57-70

Davis, S., Johson, K., Bettinger, P., Howard, T. (2001). Forest management. 4th ed. Mcgraw–Hill, New York.

De Camino, R. (1976). Determinación de la Homogeneidad de Rodales. *Revista Bosque* 1 (2): 110-115.

Donoso, C. (1981). Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Documento de Trabajo 38, FO:DP/CHI/76/003. Investigación y desarrollo Forestal (FAO).

Donoso, C. (1993). Ecología forestal. Bosques templados de Chile y Argentina, variación, estructura y dinámica”. Editorial universitaria, Santiago.

Donoso, C. (1999). Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 421 p.

Donoso, C., Premoli, A., Gallo L., Ipinza R. (2004). Variación Intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. 420 p.

Donoso, P, Otero, L .(2005). Hacia una definición de país forestal: ¿Dónde se sitúa Chile? Revista Bosque vol.26, no.3, p.5-18.

Donoso P, Soto, D.,Bertín, R. (2007). Size- density relationships in *Drimys winteri* secondary forest of the Chiloe Island, Chile: effects of fisiografy and species composition. Forest Ecology and Management 239: 120-127.

Di Bella, C., Kemerer, A., Rebella, C., Melchiori, A., Mosso, J., Reta, J. (2007). Desarrollo y aplicación de nuevas herramientas de teledetección en el estudio de ambientes. p. 41-50. In 7º Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Máquinas Precisas. 17, 18 y 19 de Julio de 2007, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agrícola Manfredi. Córdoba, Argentina.

Di Castri F., Hajek, E.(1976). Bioclimatología de Chile. Editorial Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 128 pp.

Duchaufour, Ph., Bonneau, M., Debazac, E.-F., Parde, J.(1961). Types de forêt et aménagement: la Forêt de la Controlerie en Argonne. Annales de l'École Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences (Francia) vol. 18, N° 1, p. 1-44.

Esse, C, Navarro, C., Donoso, P., Müller-Using, S. (2009). Estudio de disturbios en bosques secundarios de canelo y su efecto sobre la estructura, a través de tecnologías de percepción remota en Llanquihue, Chile Universidad Católica de Temuco. Tesis Magíster SIG y PR. 33 p.

- Fernández, R., Falher, J., Fassola, H., Pahr, N., Lupi, A. (1995).** Influencia de la compactación producida durante la tala rasa sobre la productividad del segundo ciclo de *Pinus taeda* L. *Revista Bosque*. Vol 16(2): 91-99 p.
- Flores, J., Lee, H. (2004).** Efectos del clima y capacidad de almacenamiento de agua del suelo en la productividad de rodales de pino radiata en Chile: un análisis utilizando el modelo 3-PG. *Bosque* 25 (3): 11-24.
- García, F. (2002).** Beneficios potenciales del uso de las herramientas de agricultura de precisión en el diagnóstico y aplicación de fertilizantes. p. 1-6. In 3er Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América. 17-19 de Diciembre, PROCISUR. Córdoba, Argentina.
- Gayoso, J., Muñoz, R. (2000).** Un algoritmo heurístico para resolver la asignación de usos alternativos en áreas rurales. *Bosque* 21 (1): 3-12.
- Glaría, G. (1980).** Las Unidades Ambientales. Estudio sobre la oportunidad y viabilidad de su definición en una situación real. Madrid: Tesis Doctoral. E.T.S.I. Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- Gerding, V. (2009).** La tala rasa y su efecto en la productividad del sitio. In. Donoso, P. Editor. *Tala Rasa: Implicaciones y desafíos*. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 17-39 p.
- Gerding, V., Schlatter, J. (1995).** Variables y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Chile. *Bosque* 16 (2): 39-56.
- Gertner, G.Z, Dzialowy, P.J. (1984).** Effects of measurement errors on an individual tree-based growth projection system. *Can. J. For. Res.*, 14: 311-316.
- Gómez Orea, D. (1992).** *Planificación Rural*. Madrid: Editorial Agrícola Española, S. A.

- Gómez Orea, D. (1994).** Ordenación Territorial. Una aproximación desde el Medio Físico. Madrid: Editorial Agrícola Española, S. A.
- Gonzalez, R., Treviño, E., Aguirre, O., Jiménez, J., Cantú, I., Foroughbackhch, R. (2004).** Rodalización mediante sistemas de información geográfica y sensores remotos. *Investigaciones Geográficas*, 53: 39-57
- Gajardo, R., Luebert, F., Estay, M. (2005).** Ensayo de una tipología de estaciones forestales en el Parque Nacional Tolhuaca, Chile. *BOSQUE* 26(2): 47-56
- Hernández, M. (1992).** Análisis de la variación de dos poblaciones contiguas de *Drimys winteri* (forst) en la "Precordillera Andina de la VIII Región". Tesis Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.
- Holdgate, M W. (1961).** Vegetation and soils in the south chilean islands. *Journal of Ecology* 49 (3). 559 - 580 .
- INFOR (2008).** Manual de Silvicultura en Bosques Nativos Dominados por Raulí, Roble y Coigue para Pequeños y Medianos Productores. 34 p.
- Jaque, C., Mardones, M., Rovira, A. (2004).** Planificación ecológica aplicada a una cuenca costera de la Octava Región. La cuenca del río Andalién. Disponible en <http://www2.udec.cl/~depgeografia/images/archivos/edi1.pdf>. Leído 10 de Septiembre 2008.
- Kangas, J., Kangas, A. (2005).** Multiple criteria decision support in forest management—the approach, methods applied, and experiences gained. *Forest Ecology and Management*. Volume 207, Issues 1-2:133-143
- Kohm, K.A. y Franklin, J.F. (1997).** Creating a forestry for the 21st Century. The science of ecosystem management. Island Press, Washington D.C. 475 p.
- Lackey, RT. (1998).** Seven pillars of ecosystem management. *Landscape and Urban Planning* 40(1-3): 21-30.

- Roberts, M. (2006).** A model-based approach to estimating forest area”, Remote Sensing of Environment 103 (2006), pp. 56–66
- McRoberts, M D, Nelson, Wendt, D.G. (2002).** Stratified estimation of forest area using satellite imagery, inventory data, and the k-Nearest Neighbors technique, Remote Sensing of Environment 82 (2002), p. 457–468.
- Millanao, D.(1984).** Diferenciación genecológica de dos poblaciones de *Drimys winteri* forst. (Novena y Décima Regiones, Chile)". Tesis, Instituto de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.
- Mueller-Dombois, D., Ellenberg. H. (1974).** Aims and methods of vegetation ecology. New York: John Wiley and Sons. 547 p.
- Mulla, DJ., Schepers, J. (1997).** Key processes and properties for site-specific soil and crop management. p. 1–18. In E.J. Sadler (ed.) The state of site-specific management for agriculture. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Navarro, C., Donoso, C., Sandoval, V., González, C .(1997).**Evaluación de raleos en renovales de Canelo (*Drimys winteri* (forst)) en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile" (bosque 18(2): 51 67).
- Nyland, R. (2002).** Silviculture. Concepts and Applications. New York, USA. McGraw-Hill Companies. 633 p.
- Noss, R. (1999).** Assessing and monitoring forest biodiversity: a suggested framework and indicators. Forest Ecology and Management 115:135–146
- Novoa, R., Villaseca, S. (1989).** Mapa agroclimático de Chile. Santiago, INIA. 221p.
- Ortega,J., Foster,W. ,Ortega, R. (2002).** Definición de sub-rodas para una silvicultura de precisión: una aplicación del método fuzzy k-means. Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura. 29: 35-44

- Ortega, R. (2007).** Herramientas para el manejo sitio específico de cultivos. p. 62-67. In 7º Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Máquinas Precisas. 17, 18 y 19 de Julio de 2007, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agrícola Manfredi. Córdoba, Argentina.
- Oliver, C.D., Larson, B.C. (1996)** .Forest Stand Dynamics, John Wiley & Sons, New York . 520 pp.
- Overbay, J. C. (1992).** Ecosystem management. Pages 3-15 in Taking an ecological approach to management. USDA For. Serv., Washington, D.C.
- Peña, F., Mardones, M. (1999).** Planificación ecológica en el curso inferior del río Itata. VIII Región del Bio-Bio. Terra Australis 44: 45 -62.
- Peralta, M. (1975).** Ecología y silvicultura del bosque nativo. Suelos. Bol . Técn. N° 3 1 . Fac. Cs. Forestales Univ. de Chile. 50 pp.
- Puettmann, K.J., Coates, K.D., Messier, C. (2009).** A critique of silviculture. Managing for Complexity. Island Press pág. 68-69
- Reineke, L.H. (1933).** Perfecting a stand-density index for even-aged forests. Journal of Agricultural Research 46:627-638.
- Rodriguez, R., Quezada, M. (1991).**Nueva combinación en *Drimys* J. R. y G. Forster (Winteracea) de Chile. Gayana Bot. 48 (1-4): 111-114.
- Roel, A., Terra, J. (2006).** Muestreo de suelos y factores limitantes del rendimiento. p. 65-80. In R. Bongiovanni, E. Mantovani, S. Best y A. Roel (eds.). Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Montevideo, Uruguay.
- Saavedra, J.(2001).** Planificación ambiental de los recursos forestales en la Región de la Araucanía, Chile. Definición de unidades homogéneas de gestión. 343

p. Tesis Doctoral E.T.S.I. de Montes. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Schlatter, J, Grez, R, Gerding, V. (2003). Manual para el reconocimiento de suelos. Tercera edición. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 114 p.

Schlatter, J. Gerding, V. (1995). Método de clasificación de sitios para la producción forestal, ejemplo en Chile. *Bosque* 16 (2): 13-20.

Schlatter, J, Gerding, V, Oñate, M. (1998). Características y variabilidad de sitios con plantaciones adultas de *Pinus radiata* D. Don en suelos graníticos de las Regiones VIII y IX. *Bosque* 19(1): 37-59.

Schlatter, J. 1994. Requerimientos de sitio para la lenga, *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser. *Bosque* 15(2): 3-10, 1994

Skovsgaard, J., Vanclay, J. (2008). Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands', *Forestry*, vol. 81, no. 1, p. 13-31.

Spies, TA., Franklin, J. (1996). The diversity and maintenance of old growth forests. In *Biodiversity in Managed Landscapes: Theory and Practice*. Eds. R.C. Szaro and D.W. Johnson. Oxford University Press, New York, pp 296–314.

Smith, JL., Burkhart, HE. (1984). A simulation study assessing the effect of sampling for predictor variable values on estimates of yield. *Can. J. For. Res.*, 14: 326-330.

Silva, M, Negrucci, L., Marinelli, S., Liendo, T. (2007). Caracterización y mapeo digital de ambientes edáficos en el área central de la región pampeana Argentina. p. 222-226. In 7º Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Máquinas Precisas. 17, 18 y 19 de Julio de 2007, Instituto Nacional de

Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agrícola Manfredi.
Córdoba, Argentina.

Skovsgaard, J.P., Vanclay JK. (2008). Forest site productivity: A review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81(1):13-31.

Szaro, R., Sexton, W.T., Malone C.R. (1998). The emergence of ecosystem management as a tool for meeting people's needs and sustaining ecosystems. *Landscape and Urban Planning* 40: 1-7

Thiers, O., Gerding, V., Hildebrand, E. (2008) .Renovales de *Nothofagus Obliqua* en Centro y Sur de Chile: Factores De Sitio Relevantes Para La Productividad.

Tomppo, E., Halme, M. (2004) .Using coarse scale forest variables as ancillary information and weighting of variable sin k-NN estimation: A genetic algorithm approach". *Remote Sensing of Environment* 92 (2004), pp. 1–20.

Toro, J. 2003. Silvicultura intensiva de plantaciones forestales en manos de pequeños propietarios. p. 3-16. In M. Aguilera y E. García (eds.). *Investigación y Desarrollo Forestal en la Pequeña Propiedad*. Instituto Forestal, Fundación Chile. Concepción, Chile.

Urzúa, D., Poblete, H. (1980). Factibilidad técnica de la producción de tableros de partículas utilizando especies que crecen en los terrenos Ñadi". Informe de convenio N° 29. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.

Varvel, G.E., Schlemmer, M.R., Schepers, J.S. (1999). Relationship between spectral data from aerial image and soil organic matter and phosphorus levels. *Precis. Agric.* 1:291–300.

Vita, A. (1996). Los tratamientos silviculturales. Santiago: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. 1996. 147 p.

2.18 Anexos.

Anexo 2-1. Superficie relativa de renovales de *D. winteri* a nivel de región y provincia. CH: clase de homogeneidad

Variables	CH	R. Araucanía	R. de Los Rios			Región de los Lagos			Total	
		Cautin	Valdivia	Ranco	Osorno	Llanquihue	Chiloé	Palena		
Renoval Denso	2-4 m	1.4	0,09	0,77	0,00	0,00	0,33	1,11	0,00	2
	4-8 m	1.3	0,76	0,48	0,27	0,51	2,37	2,75	0,44	8
	8-12 m	1.2	0,91	2,44	3,07	4,79	6,58	4,72	1,31	24
	12-20 m	1.1	0,22	0,33	0,52	2,80	1,70	0,96	0,04	7
	Total		2	4	4	8	11	10	2	40
Renoval semidenso	2-4 m	2.4	0,02	0,64	0,01	0,34	0,79	2,75	1,63	6
	4-8 m	2.3	0,38	6,39	2,02	1,37	4,51	8,71	2,16	26
	8-12 m	2.2	0,65	1,14	0,64	1,00	3,72	5,33	0,84	13
	12-20 m	2.1	0,21	1,19	0,37	0,19	0,31	0,13	0,14	3
	Total		1	9	3	3	9	17	5	48
Renoval abierto	2-4 m	3.4	0,44	0,44	0,05	0,14	0,45	1,02	0,03	3
	4-8 m	3.3	0,00	0,18	0,14	0,71	1,89	1,84	0,12	5
	8-12 m	3.2	0,00	0,10	0,21	0,26	1,85	0,30	0,15	3
	12-20 m	3.1	0,06	0,08	0,46	0,20	0,81	0,20	0,02	2
	Total		1	1	1	1	5	3	0	12

Anexo 2-2. Superficie por clase de homogeneidad de bosque de segundo crecimiento de *D. winteri* a nivel de región y provincia.

Variables	CH	R. Araucanía	R. de Los Ríos		Total R ríos	Región de los Lagos				Total Los Lagos	Total	
		Cautín	Valdivia	Ranco		Osorno	Llanquihue	Chiloé	Palena			
Renoval Denso	2-4 m	1.4	236	1.930		1.930	0	820	2.805	0	3625	5.791
	4-8 m	1.3	1.921	1.217	669	1.886	1.285	5.970	6.923	1.103	15.281	19.088
	8-12 m	1.2	2.291	6.152	7.746	13.898	12.070	16.589	11.897	3.297	40556	60.041
	12-20 m	1.1	548	836	1.316	2.152	7.046	4.297	2.420	102	13763	16.565
	Total		4.996	10.136	9.731	19.866	20.400	27.676	24.044	4.503	73225	101.486
Renoval semidenso	2-4 m	2.4	57	1.621	24	1.645	856	1.988	6.927	4.121	13892	15.594
	4-8 m	2.3	947	16.112	5.100	21.212	3.460	11.361	21.945	5.448	42214	64.373
	8-12 m	2.2	1.649	2.864	1.620	4.484	2.519	9.386	13.437	2.118	27460	33.593
	12-20 m	2.1	541	3.012	921	3.933	484	770	322	365	1941	6.415
	Total		3.194	23.608	7.666	31.274	7.319	23.504	42.631	12.053	85507	119.976
Renoval abierto	2-4 m	3.4	1.105	1.121	132	1.253	342	1.132	2.569	67	4110	6.468
	4-8 m	3.3		451	363	814	1.785	4.762	4.645	305	11497	12.313
	8-12 m	3.2		241	517	758	652	4.665	764	377	6458	7.216
	12-20 m	3.1	163	194	1.154	1.348	492	2.043	502	55	3092	4.603
	Total		1.267	2.008	2.166	4.173	3.271	12.602	8.481	804	25157	30.599
			9.457	35.752	19.563	55.313	30.990	63.782	75.156	17.360	183.889	252.061

Anexo 2-3. Superficie por clase de homogeneidad de bosque de segundo crecimiento de *D. winteri* a nivel de región y provincia.

Variables	CH	R. Araucanía		R. de Los Ríos			Región de los Lagos				Total Pais	
		Cautín	Valdivia	Ranco	Total	Osorno	Llanquihue	Chiloé	Palena	Total		
Renoval Denso	2-4 m	1.4	0,09	0,77	0,00	0,77	0,00	0,33	1,11	0,00	1	2
	4-8 m	1.3	0,76	0,48	0,27	0,75	0,51	2,37	2,75	0,44	6	8
	8-12 m	1.2	0,91	2,44	3,07	5,51	4,79	6,58	4,72	1,31	17	24
	12-20 m	1.1	0,22	0,33	0,52	0,85	2,80	1,70	0,96	0,04	6	7
	Total		2	4	4	8	8	11	10	2	30	40
Renoval Semidenso	2-4 m	2.4	0,02	0,64	0,01	0,65	0,34	0,79	2,75	1,63	6	6
	4-8 m	2.3	0,38	6,39	2,02	8,42	1,37	4,51	8,71	2,16	17	26
	8-12 m	2.2	0,65	1,14	0,64	1,78	1,00	3,72	5,33	0,84	11	13
	12-20 m	2.1	0,21	1,19	0,37	1,56	0,19	0,31	0,13	0,14	1	3
	Total		1	9	3	12	3	9	17	5	34	48
Renoval abierto	2-4 m	3.4	0,44	0,44	0,05	0,50	0,14	0,45	1,02	0,03	2	3
	4-8 m	3.3	0,00	0,18	0,14	0,32	0,71	1,89	1,84	0,12	5	5
	8-12 m	3.2	0,00	0,10	0,21	0,30	0,26	1,85	0,30	0,15	3	3
	12-20 m	3.1	0,06	0,08	0,46	0,53	0,20	0,81	0,20	0,02	1	2
	Total		1	1	1	2	1	5	3	0	10	12
Total General		4	14	8	22	12	25	30	7	74	100	

Anexo 2-4. Zonas de gestión silvícola de bosques de segundo crecimiento de *D. winteri*.

Sitio	Uso	Altura	Cautín	Valdivia	Ranco	Osorno	Llanquihue	Chiloé	Palena	Total General
I	Renoval Denso	2-4 M	-	-	-	-	-	28	-	28
		4-8 M	-	-	-	-	-	116	-	116
		8-12 M	-	-	-	34	-	300	-	334
		12-20 M	-	-	-	29	-	20	-	49
		Total	-	-	-	63	-	464	-	527
	Renoval Semidenso	2-4 M	-	-	-	-	-	76	-	76
		4-8 M	-	-	-	-	-	448	-	448
		8-12 M	-	-	-	-	-	270	-	270
		12-20 M	-	-	-	-	-	24	-	24
		Total	-	-	-	-	-	818	-	818
	Renoval Abierto	2-4 M	-	-	-	4	-	20	-	24
		4-8 M	-	-	-	-	-	109	-	109
		8-12 M	-	-	-	29	-	36	-	65
		Total	-	-	-	33	-	165	-	199
		Total	-	-	-	96	-	1.447	-	1543
	II	Renoval Denso	2-4 M	-	258	-	-	317	810	-
4-8 M			-	209	609	1.273	1.796	1.780	-	5.667
8-12 M			-	1.093	5.802	11.444	4.658	2.983	-	25.979
12-20 M			-	116	1.316	6.688	1.480	821	-	10.421
Total			-	1.676	7.727	19.405	8.251	6.393	-	43.452
Renoval Semidenso		2-4 M	-	589	24	766	402	1.816	-	3.597
		4-8 M	-	3.306	3.358	3.300	2.841	7.231	-	20.037
		8-12 M	-	1.773	1.618	2.237	3.304	7.060	-	15.991
		12-20 M	-	637	921	462	272	243	-	2.536
		Total	-	6.305	5.922	6.765	6.818	16.350	-	42.160
Renoval Abierto		2-4 M	-	172	92	323	90	337	-	1.013
		4-8 M	-		322	1.672	1.306	1.617	-	4.917
		8-12 M	-	149	517	601	1.651	589	-	3.507
		12-20 M	-		1.154	492	934	9	-	2.590
		Total	-	321	2.085	3.088	3.980	2.553	-	12.026
Total		-	8.302	15.734	29.258	19.049	25.296	-	97.639	

Anexo 2-5. Cont. Zonas de gestión silvícola de bosques de segundo crecimiento de *D. winteri*.

Sitio	Uso	Altura	Cautín	Valdivia	Ranco	Osorno	Llanquihue	Chiloé	Palena	Total general
III	Renoval Denso	2-4 m	48	597	-	-	-	1.967	-	2.613
		4-8 m	34	15	-	-	-	5.027	125	5.201
		8-12 m	27	1096	1934	287	437	8.614	512	12.908
		12-20 m	-	36	-	322	-	1.580	-	1.937,4
		Total	110	1.744	1.934	609	437	17.188	637	22.659
	Renoval Semidenso	2-4 m	-	196	-	19	-	5.035	560	5.809
		4-8 m	109	2.045	1.742	74	13	14.266	1.121	19.370
		8-12 m	43	428	-	19	199	6.107	702	7.497
		12-20 m	-	748	-	-	-	55	8	811
		Total	151	3.416	1.742	112	212	25.463	2.391	33.488
	Renoval Abierto	2-4 m	-	260	11	-	-	2.211	-	2.482
		4-8 m	-	97	41	37	-	2.919	-	3.094
		8-12 m	-	-	-	3	-	139	-	142
		12-20 m	-	-	-	-	77	493	-	570
		Total	-	357	52	40	77	5.762	-	6.288
Total		261	5.517	3.728	761	726	48.413	3.028	62.435	
IV	Renoval Denso	2-4 m	188	1.075	-	-	503	-	-	1.766
		4-8 m	1.887	994	60	12	4.173	-	978	8.104
		8-12 m	2.263	3.964	10	304	11.494	-	2.785	20.820
		12-20 m	548	683	-	8	2.817	-	102	4.159
		Total	4.887	6.716	70	323	18.988	-	3.865	34.848
	Renoval Semidenso	2-4 m	57	836	-	71	1.586	-	3.561	6.112
		4-8 m	838	10.760	-	86	8.506	-	4.327	24.518
		8-12 m	1.606	663	2	263	5.884	-	1.417	9.835
		12-20 m	541	1.626	-	22	498	-	357	3.044
		Total	3.043	13.886	2	442	16.474	-	9.662	43.510
	Renoval Abierto	2-4 m	1.105	689	29	16	1.043	-	67	2.948
		4-8 m	-	354	-	76	3.457	-	305	4.193
		8-12 m	-	92	-	19	3.014	-	377	3.502
		12-20 m	163	194	-	-	1.032	-	55	1.443
		Total	1.267	1.330	29	111	8.545	-	804	12.087
Total		9.197	21.932	101	876	44.007	-	14.332	90.445	
Total General		9.457	35.752	19.563	30.991	63.782	75.156	17.360	252062	

Anexo 2-6. Indicadores de rentabilidad por tratamiento y tasa de descuento.

Supuestos	Indicadores	TD (%)*	Testigo (E4)	Raleo fuerte (E3)	Raleo fuerte (E2)	Raleo moderado (E1)
Supuesto 1 (S1)	VAN (US\$ ha ⁻¹)	6	1.122	1.966	2.724	2.546
		8	641	1.751	2.344	2.177
		10	337	1.819	2.105	1.929
	VPS (US\$ ha ⁻¹)	6	1.553	2.721	3.771	3.524
		8	786	2.146	2.873	2.667
		10	384	2.074	2.400	1.929
	TIRm (%)	6	12	18	19	20
		8	13	19	19	20
		10	13	20	20	21

*TD: tasa de descuento.

Anexo 2-7. Especificaciones grados de calidad árboles en pie¹⁾

Defectos y especificaciones	Definición grados de calidad árbol en pie			
	A	B	C	D
Abolladuras	No admite	No admite	No admite	Admite
Abultamientos	No admite	No admite	No admite	Admite
Bigote chino (número y características)				
- Número	Máx. 1	Máx. 3	Máx. 6	Ilimitados
- Características	Cerrados	Cerrados	Abiertos o cerrados	Abierto
Cáncer o cancro	No admite	No admite	No admite	Admite
Eje vertical	Recto	Recto y/o inclinado	Recto y/o inclinado	Recto, inclinado, curvado o multifustal
Evidencia insectos	No admite	Máx. 1, no barrenadores	Máx. 3, no barrenadores	Admite cualquier tipo de evidencia
Daño mecánico	No admite	Raspadura menor	Raspadura mayor	Admite cualquier tipo
DAP mín.	≥ 40 cm	≥ 30 cm	≥ 30 cm	≥ 20 cm
Muñones (número y diámetro)				
- Número	Máx. 3	Máx. 6	Ilimitado	Ilimitado
- Diámetro	≤ 2,5 cm	6 ≤ 2,5 cm, o 1 ≥ 5 cm	Ilimitado ≤ 2,5cm, o Máx. 5 ≥ 5 cm	Ilimitado ≤ 2,5 cm, o Máx. 5 ≥ 5 cm
Pudrición	No admite	No admite	No admite	Admite
Ramas (Número y diámetro máximo)				
- Número	Máx. 3	Máx. 6	Ilimitado	Ilimitado
- Diámetro	≤ 2,5 cm	6 ≤ 2,5 cm, o 1 ≥ 5 cm	Ilimitado ≤ 2,5cm, o Máx. 5 ≥ 5 cm	Ilimitado ≤ 2,5 cm, o Máx. 5 ≥ 5 cm
Troza basal árbol en pie				
- Largo mínimo	≥ 2,5 m	≥ 2,5 m	≥ 2,5 m	≤ 2,5 m
- Sección transversal	Circular	Ovalada	Ovalada	Deformada

Anexo 2-8. Fisiografía y Clases de drenaje

Altitud: en el estudio se definieron rangos de 200 m.s.n.m. en la gradiente altitudinal de distribución.

Exposición: expresa la orientación del terreno ocupado por una determinada formación, se consideraron las siguientes exposiciones: norte de 270° a 90°; sur 91° a 269° y plano.

Pendiente: define el grado de inclinación de un terreno respecto a la horizontal, se consideraron los siguientes cinco rangos: 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 y mayor a 100%.

Drenaje: Es la capacidad que tiene el suelo de facilitar el paso o infiltración del agua a través de él. Se basó este estudio en las categorías definidas en CIREN, (2002):

Bueno: El agua es removida del suelo fácilmente pero no rápidamente. Estos suelos retienen cantidades óptimas de humedad para el crecimiento de las plantas después de lluvias o adiciones de agua de riego y presentan comúnmente texturas intermedias.

Excesivo: El agua es removida del suelo muy rápidamente. Los suelos excesivamente drenados son comúnmente litosoles o litosólicos y pueden ser inclinados, muy porosos o ambos. El agua proveniente de las precipitaciones no es suficiente en estos suelos para la producción de cultivos comunes, por lo que necesitan de regadío e incluso así, no pueden lograrse rendimientos máximos en la mayoría de los casos.

Imperfecto: El agua es removida del suelo lentamente, suficiente para mantenerlo húmedo por períodos, pero no durante todo el tiempo. Los suelos de drenaje imperfecto comúnmente tienen capas lentamente permeables dentro del pedón, niveles freáticos altos, suplementados a través del escurrimiento, o una combinación de estas condiciones. El crecimiento de los cultivos es restringido a menos que se provea un drenaje artificial.

Moderado: El agua es removida algo lentamente, de tal forma que el pedón está húmedo por poca pero significativa parte del tiempo. Los suelos de drenaje moderado comúnmente tienen capas lentamente permeables dentro o inmediatamente bajo el "solum", un nivel freático relativamente alto, sumado al agua a través del escurrimiento, o alguna combinación de estas condiciones

Muy Pobre: El agua es removida del suelo tan lentamente que el nivel freático permanece en o sobre la superficie en la mayor parte del tiempo. Los suelos generalmente ocupan lugares planos o deprimidos y están frecuentemente inundados.

Pobre: El agua es removida tan lentamente que el suelo permanece húmedo una gran parte del tiempo. El nivel freático está comúnmente en o cerca de la superficie durante una parte considerable del año. Las condiciones de pobremente drenado son debidas al nivel freático alto, o capas lentamente permeables en el pedón, al escurrimiento o a alguna combinación de estas condiciones.

2.9 Estados de desarrollo.

Desarrollo del rodal: el desarrollo del bosque o rodal se diferencia por estados o fases, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo al desarrollo logrado en altura y diámetro. No obstante se debe indicar que esta clasificación es de tipo general, y se orientan a básicamente a describir el desarrollo del rodal que es generado en forma natural.

Regeneración: se considera la regeneración de la especie deseada y establecida, de una altura menor a 0,50 metros. Esta fase de desarrollo del bosque se orienta a la formación natural del rodal.

Brinzal: está compuesto por árboles jóvenes con una altura que varía entre 0,50 y 2,0 metros. Generalmente termina cuando se produce la eliminación natural de los individuos.

Monte Bravo: esta fase se presenta cuando los individuos de la especie deseada logran entre 2 y 8 metros de altura. Se observa además, una alta densidad y fuerte competencia.

Latizal: se compone de árboles entre 8 y 20 m de altura y menos de 20 cm de diámetro, siendo posible distinguir los siguientes procesos:

Grado de competencia menor que en la fase de monte bravo, por ello la tasa de mortalidad es baja.

Los individuos empiezan a diferenciarse notoriamente en clases de copas.

La diferencia entre los individuos, en cuanto a calidad, se presenta más o menos evidente.

Fustal Delgado: corresponde al estado en que los árboles adquieren formas relativamente definitivas. El suelo está amenazado por la invasión de una cubierta herbácea y arbustiva. En esta fase el número de individuos está más o menos estabilizado, es decir, no se presenta un raleo natural evidente.

Fustal: los rodales que alcanzan la fase de fustal son relativamente escasos en superficie. El diámetro promedio que debe lograr el rodal debe encontrarse entre 35 y 55 cm.

Fustal Grueso: son rodales que están en condiciones (tamaño) de ser cosechados, es decir, presentan un diámetro superior a 55 cm de DAP.

Sobremaduro: corresponden generalmente a individuos de la primera generación, que se caracterizan por sobresalir en altura y diámetro.

**EVALUACIÓN DE RALEOS EN UN RENOVAL DE CANELO
(*Drimys winteri* J. R. FORST. & G. FORST.) EN LA CORDILLERA
DE LA COSTA DE VALDIVIA. CHILE: 21 AÑOS DESPUES.**

CAPÍTULO 3

3 CAPITULO 3. EVALUACIÓN DE RALEOS EN UN RENOVAL DE CANELO (*Drimys winteri* J. R. FORST. & G. FORST.) EN LA CORDILLERA DE LA COSTA DE VALDIVIA. CHILE: 21 AÑOS DESPUES.

3.1 Resumen.

En la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile, se estableció en 1986, un ensayo de intensidad de raleos (*claras*) en renovales de *D. winteri*, con diseño completamente aleatorio, experimentando cinco intensidades de raleos por lo bajo que son evaluados en este estudio después de 21 años desde su intervención, en cuyo período se realizaron cinco mediciones.

La evaluación consideró un análisis físico de las respuestas a los tratamientos en base a las variaciones de las variables: diámetro, área basal, volumen, número de árboles, mortalidad, calidad, rendimiento de productos, estructura diamétrica, precio del árbol de área basal media y del bosque, diversidad y homogeneidad de rodales. Se evaluaron estadísticamente las respuestas mediante análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples, considerando niveles de significancia de 5 %.

Los resultados de las respuestas justifican la aplicación de raleos tardíos en renovales de *D. winteri*, materializado en los tamaños y rendimientos significativamente superiores respecto del testigo. El tratamiento de raleo de intensidad intermedia de extracción experimentó los mayores rendimientos de productos y mayores dimensiones de los árboles en términos de diámetro. Se recomienda en términos físicos, aplicar un primer raleo moderado, dejando en promedio 2.500 árb/ha (raleo a 2 m) y en un segundo raleo dejar 900 árb/ha (raleo a 3 m) luego de 10 años. Los raleos de mayor intensidad subutilizan para el período analizado el sitio, generan menores rendimientos a nivel de rodal, el mayor precio del árbol de área basal media, la mayor homogeneidad y menor diversidad produciéndose pérdidas de árboles por mortalidad por viento; sin embargo, aún se observa el efecto del raleo después de 21 años.

3.2 Introducción.

En Chile numerosas especies forestales conforman bosques de segundo de crecimiento o renovales como resultado de explotaciones intensivas de bosques primarios, seguidas de roces de fuego, siembra y abandono, donde la regeneración se produce por semillas y brotes de tocón de aquellos árboles residuales (Wadsworth, 1976). Entre ellos destacan los dominados por las especies *N. obliqua*, *N. procera*, *N. dombeyi* y *D. winteri*, alcanzando una superficie de 3.585 mil hectáreas y de Bosque Adulto-Renoval de 861,9 mil hectáreas (CONAF *et al.* 1999).

D. winteri se encuentra presente en la mayoría de los tipos forestales y estados de desarrollos del bosque nativo chileno. En la región de Los Lagos y de Los Ríos se encuentra presente en aproximadamente 658 mil ha, de las cuales 264.000 mil hectáreas corresponden a renovales de *D. winteri* (INFOR, 2004), especialmente en las provincias de Llanquihue y Chiloé, en áreas rurales de bajos índices socioeconómicos y que tienen en este recurso una posibilidad cierta de desarrollo futuro.

Donoso (1981) señala que *D. winteri* forma renovales puros, a veces mezclados con Coigue de Chiloé o con *E. cordifolia*, a lo largo del Tipo Forestal Siempreverde, en la Cordillera de los Andes y la Costa; son de monte alto y constituyen el subtipo Renovales de Canelo. Se utiliza principalmente para la producción de madera aserrada la que tiende a ser consumida en el mercado nacional, no alcanzando esta especie su real potencial económico en la actualidad (INFOR, 2004). La realización de prácticas silvícolas debería aumentar su potencial productivo, generando productos de mayor valor para mercados internacionales. La poda y el raleo son las actividades silvícolas que, oportuna y adecuadamente realizadas en los bosques, condicionan en gran medida la calidad y cantidad de los productos que se obtienen de una masa boscosa, influyendo sobre su rentabilidad (Crechi *et al.* 2005).

Todavía existe controversia sobre cómo afecta el raleo en el crecimiento, en la estructura y la diversidad de los bosques; ello a causa de las altas variaciones

de densidad, origen, composición de las especies, calidad de sitio, edad del rodal, períodos de observación, métodos de raleo, entre otras (Lei *et al.* 2007) y cambios en los mercados que afectan las tecnologías silvícolas tradicionales. Sin embargo, existe acuerdo respecto a que éste podría influenciar sustancialmente los patrones naturales de crecimiento, desarrollo, estructura y rendimiento; lo cual permite a propietarios regular los niveles de ocupación de sitio y consecuentemente el desarrollo del rodal, logrando a nivel de bosque y árbol los objetivos de manejo propuestos. Esto se alinea con la producción de madera, pero no es excluyente para otros objetivos de producción, tales como control de hábitat de animales y plantas y usos no comerciales. (Nyland, 2002).

Nyland (2002) realiza un listado de algunos efectos generales del raleo, destacando los siguientes: a) reduce el tiempo en árboles individuales para alcanzar un diámetro meta específico y favorece los árboles con potencial de crecimiento mayor, b) prolonga el tiempo del máximo crecimiento anual periódico, c) mejora la calidad y valor al focalizar el crecimiento en los árboles y especies de mayor valor, d) aumenta el rendimiento de productos por cosechar árboles que podrían de otra forma sucumbir por la intensa competencia entre árboles, e) provee o genera ingresos periódicos durante las etapas intermedias del desarrollo del rodal, f) mantiene árboles vigorosos y elimina aquellos susceptibles a insectos locales y enfermedades, g) fortalece el fuste y ramas residuales, haciéndolos más resistentes a quebraduras, h) aporta insumos tempranamente para ayudar a pagar la inversión y costos operacionales, i) mantiene árboles de buen fenotipo como una fuente de semillas para la próxima rotación.

Diversos autores (Nyland, 2002; Pretzsch, 2009) respecto a los distintos tipos de raleo (por lo bajo, de copas, sistemático, raleo libre y raleo de selección) indican que la decisión de aplicar uno u otro depende de los siguientes factores:

- Condición del rodal: tamaño de árboles, calidad, arreglo espacial de los potenciales árboles cosecha.

- Mezcla de especies-tolerancia, potencial de crecimiento si son liberados, su diferenciación en clases de altura y su compatibilidad con los objetivos de los propietarios.
- Edad del rodal en relación al tiempo de espera para la rotación, grado de autorraleo, grado de estratificación dentro del dosel y potencial de respuesta de los árboles liberados.
- Propósitos del propietario y capital de trabajo.
- Opciones de mercado, usos alternativos y el valor potencial del suelo.

El raleo en general se traduce en que los árboles residuales ocupan nuevamente los espacios liberados o disponibles y aumentan el desarrollo de sus copas, siendo más rápido con una mayor liberación de espacios (Pretzsch, 2009). Al respecto Juodvalkis *et al.* (2005), determinó para seis especies y rodales de 10 a 60 años, que el raleo promovió el incremento diametral especialmente en rodales jóvenes, correlacionándose positivamente con la intensidad del mismo. Además determinó que intensidades de extracciones moderadas y bajas estimularon la producción de madera en rodales jóvenes y en rodales de mayor edad ocurrió lo contrario. Los resultados determinaron incrementos significativos en volumen alcanzables con raleos solo de rodales jóvenes de 10 a 20 años de las especies *Pinus sylvestris*, *Picea abies* y *Quercus robur*, o de 10 a 30 años de *Betula pubescens*, *Betula pendula* y *Populus tremula*. Las copas comienzan a reaccionar después del primer año de realizado el raleo y alcanzan crecimientos máximos después de 2 a 3 años para las especies estudiadas.

Lei *et al.* (2007), analizaron la estructura y dinámica de crecimiento de plantaciones seminaturales para su manejo, evaluando cuatro tratamientos de raleo (control, raleo ligero, raleo medio y raleo pesado) en *larch-spruce-fir* con extracciones de 0, 20, 30 y 49% de área basal respectivamente. Los resultados muestran diferencias en el incremento anual periódico del área basal y volumen, mientras que el diámetro y volumen entre tratamientos cambió con el tiempo en una compleja interacción estadística. Determinaron que el raleo después de doce años desde la intervención tiene un efecto significativo sobre el crecimiento a nivel de árbol y a nivel de rodal, mientras que el incremento

anual periódico del diámetro, área basal y volumen fue correlacionado positivamente con la intensidad del raleo. Diferencias no significativas se encontraron en el rendimiento total entre tratamientos; la composición de especies no cambió significativamente durante los años del monitoreo. Diferencias no significativas fueron observadas en diversidad de tamaños y especies, siendo similares en las parcelas raleadas y testigos.

Los raleos tempranos aumentan la proporción de los diámetros más grandes a la edad de rotación, lo que tiene especial valor para esquemas de madera aserrada en rotaciones cortas. Esto se ilustra en un ensayo de raleo en bosques naturales, similar al realizado en este estudio en términos de intensidad, donde se dejó el 20, 11 y 4% de árboles en un rodal de 7 años que tiene una densidad inicial de 8.645 arb.ha¹, las respuestas se traducen en un incremento del diámetro medio cuadrático a la edad de 35 años de 106, 113 y 123%, en tanto la madera aserrada aumentó 202, 256 y 287% respectivamente (Nyland, 2002).

En Chile, los estudios de raleo en los bosques naturales se han focalizado principalmente en bosques de *Nothofagus*, destacando como factor de análisis la intensidad y en menor medida el tipo de raleo, siendo escasos los estudios de oportunidad de la intervención. Al respecto, los primeros trabajos realizados en estos bosques recomiendan aplicar raleos por lo bajo, donde el criterio base de extracción es el área basal (Rocuant, 1974; De Camino *et al.* (1974)) y el número de árboles (Wardsworth, 1976; Soler, 1979). Posteriormente diversos autores cuestionan la aplicación de raleos por lo bajo y proponen raleos por lo alto, señalando que el efecto esperado del raleo se logra afectando el dosel superior e incorporando un criterio de calidad que asegure la potencialidad de los árboles cosecha (Puentes *et al.*, 1980; Paredes, 1982). Más tarde, Lara *et al.* (1999) considera la calidad del árbol individual, árbol cosecha o árbol futuro como objetivo que persigue el raleo, elemento que enfatiza las Normas de Manejo en Chile para estos bosques. Por su parte Martínez (1999), como criterio de manejo propone un raleo selectivo con criterio biológico, que corresponde a un raleo mixto, o mezcla de raleos por lo alto y por lo bajo, realizando una evaluación a nivel de árbol individual, ésto orientado a la pequeña propiedad.

Respecto a la intensidad de raleos diversos autores plantean cifras distintas de extracción de acuerdo a las condiciones de sitio, estado de desarrollo y de estructura de los bosques (Puente *et al.* 1980; Paredes, 1982; Nuñez y Peñaloza, 1986; Grosse *et al.* 1987; Pincheira 1993). Al respecto, INFOR (2008) indica que cuando los renovales se acercan a la ocupación de sitio en términos de área basal, el incremento volumétrico óptimo se obtiene reduciendo el área basal en un 30 a 40%, y que la oportunidad del primer raleo debe realizarse en la etapa de monte bravo, y que intervenciones posteriores deben concentrarse en el dosel superior.

En Chile, en renovales de *D. winteri*, estudios comparativos de valores de crecimiento diametral indican diferencias significativas entre los principales sitios chilenos donde se encuentran ubicados los principales bosque de *D. winteri*, lo que indica la necesidad de intervenir cada bosque diferencialmente para reflejar las características típicas de cada sitio (INFOR, 2004).

Navarro *et al.*(1997) y Reyes *et al.* (2009), evaluaron ensayos de intensidad de raleos mixtos o por lo bajo grado C y D según Nyland (2002), en renovales de *D. winteri* de 30 años de edad en estado de desarrollo de latizal, después de 4, 10 y 16 años de realizadas las intervenciones, observando grandes diferencias en los tratamientos, debido principalmente a la mortalidad generada por el efecto del viento. A igual intensidad de raleo, la respuesta de los renovales fue muy distinta entre los distintos sitios dependiendo de aspectos como composición del bosque residual, exposición al viento y características del enraizamiento. Reyes *et al.*, 2009 señala que los resultados indican que lo más recomendable es trabajar con densidades residuales de entre 25-45% de densidad relativa, lo cual equivale a distanciamientos medios de 2 a 3 metros para el primer raleo, dependiendo de la vulnerabilidad de los bosques con respecto al viento, lo cual coincide con lo planteado por Navarro *et al.*(1997).

Las escasas experiencias silviculturales documentadas en Chile en bosques del Tipo Forestal Siempreverde, hacen necesario experimentar y analizar las aquellas opciones silviculturales que reducen la incertidumbre para los usuarios de estas tecnologías. En este contexto, este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de raleos tardíos de intensidad variable en renovales de *D.*

winteri en la Cordillera de la Costa de Valdivia correspondientes a sitios de productividad media, a través de las respuestas experimentadas en términos de crecimiento y rendimiento de variables dasométricas después de 21 años de establecidos los ensayos, que corresponde al de mayor data documentado en Chile y a partir de ello sugerir las tecnologías silvícolas implementables por propietarios de bosques.

3.3 Materiales y método

3.3.1 Area de estudio.

El área de ensayo se localiza en la Cordillera de la Costa de Valdivia-Chile, en el lugar denominado Hueicolla, ubicado geográficamente en el paralelo 40° 07' de latitud sur y 73° 23' de longitud oeste (Figura 3-1). Esta Cordillera originada durante el período Terciario, se caracteriza topográficamente por ser una cadena montañosa baja, bastante disectada, con cumbres aplanadas y predominan las pendientes superiores a 30% (Morales *et al.* 1988).

En el lugar predomina el tipo forestal siempreverde, con presencia importante en los sectores de menor pendiente del subtipo renovales de *D. winteri*. El área seleccionada presenta un rango altitudinal de 41 a 158 m.s.n.m, con exposiciones sur, suroeste, noroeste y oeste, con pendientes moderadas del orden del 12 a 49%.

Los suelos corresponden a la serie Hueicolla, la que se encuentra al sur del río Valdivia, desde los 100 hasta los 1.000 m.s.n.m. Son suelos con grandes variaciones de espesor, predominando los moderadamente profundos, presentan colores pardos amarillentos oscuros a pardos oscuros en superficie y pardo amarillento en profundidad, de texturas que varían de moderadamente finas en superficie a finas en profundidad. La estructura es de bloques moderados en todo el perfil; son blandos y friables en los horizontes superficiales y firmes en profundidad. Son suelos muy fuertemente ácidos, en la superficie, y fuertemente ácidos en el último horizonte (Morales *et al.* 1988).

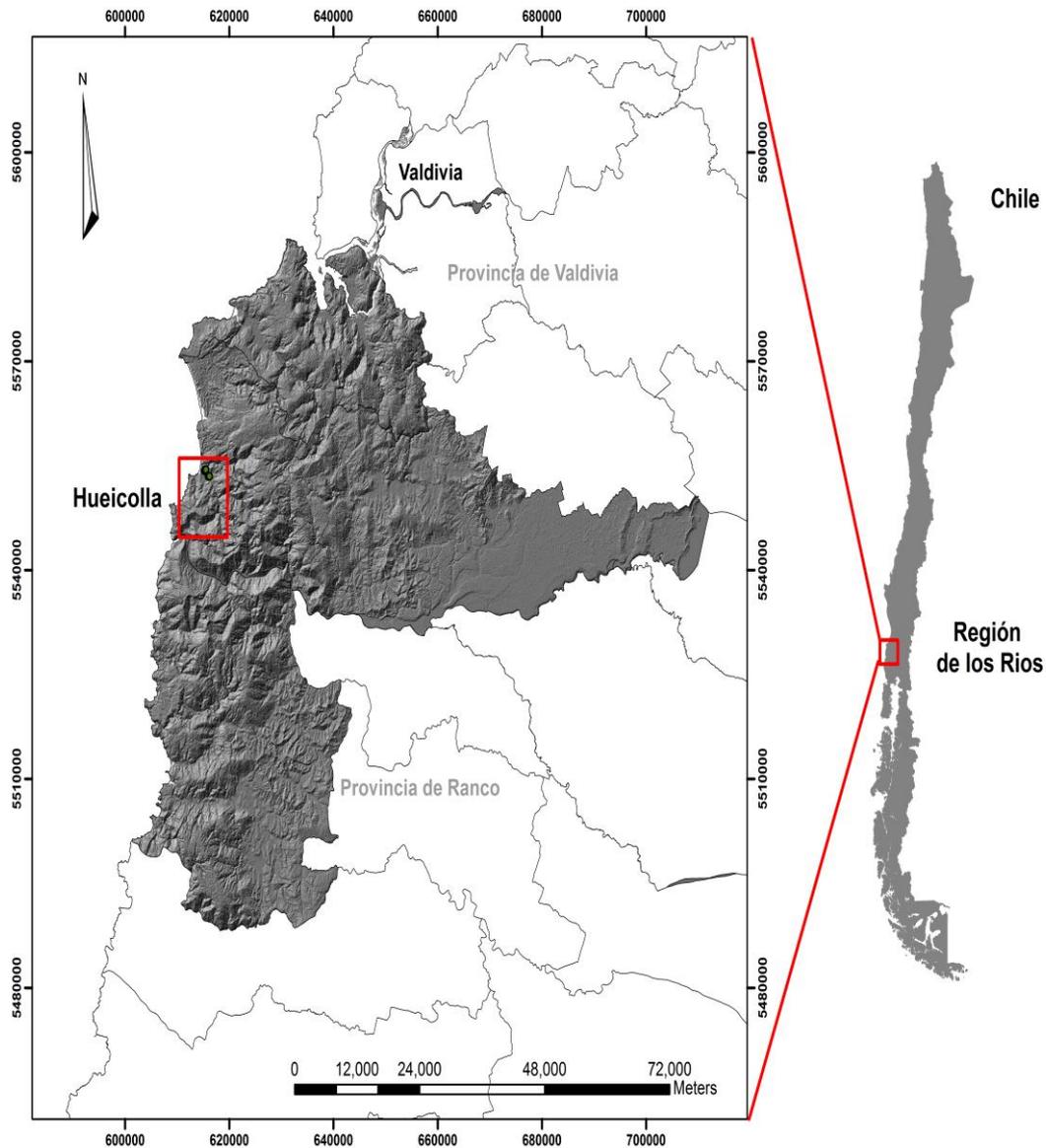


Figura 3-1. Ubicación del área de estudio.

La materia orgánica es de un contenido alto en los horizontes superficiales y disminuye bruscamente en profundidad, se destaca por su bajo contenido de nitrógeno. Los niveles de aluminio van aumentando en profundidad, en cambio los niveles de fierro extraíbles son extremadamente altos en superficie y disminuyen gradualmente en profundidad. La capacidad de fijación de fósforo es alta en superficie y media en profundidad, presentando niveles deficitarios de fósforo en todo el perfil (Morales *et al.* 1988).

Los renovales de *D. winteri* presentan enormes diferencias de productividad dependiendo del sitio. Se han identificado seis clases de sitio para *D. winteri*, las cuales comprenden valores de productividad media entre 1,1 y 16,6 m³/ha/año, con índices de sitio asociados que varían entre 6,3 y 23,5 m de altura a una edad clave de 35 años. Las variables drenaje, exposición y pendiente local explican entre un 36 y 43% de la variación en el índice de sitio (Calquín, 1986). Al respecto, el área de estudio corresponde al sitio 3, con una altura de 12 metros a los 30 años y un crecimiento anual de 10 m³/ha.

3.3.2 Diseño experimental.

El diseño del ensayo es completamente aleatorio y lo conforman cinco tratamientos de intensidades de raleo con tres repeticiones cada uno, con un total de 15 unidades de 600 m² de 20 por 30 metros. Estos corresponden a cinco densidades residuales nominales (sin raleo, liberación y espaciamientos promedios de 4x4, 3x3 y 2x2), cuyos espaciamientos reales alcanzaron un promedio de 3,75; 4,18; 3,06 y 2,12 metros respectivamente. Los criterios de intervención fueron distanciamiento medio en 3 tratamientos, un tratamiento de raleo de liberación y un testigo (tabla 3-1). En todos los tratamientos se privilegiaron los individuos pertenecientes al estrato dominante y de las calidades 1 y 2 de Canelo. Los tipos de raleos aplicados se pueden definir como raleos por lo bajo intenso, que según (Nyland, 2002) corresponden a los grados C y D; por su parte Navarro et al., (1999) los define como raleos mixtos.

El modelo estadístico del diseño experimental es:

$$y_i = \mu + \tau_i + \varepsilon_i \quad (3-1)$$

Donde: y_i = Representa la observación correspondiente al nivel (i) del factor intensidad de raleo. μ = Efecto constante denominado media global. τ = Efecto producido por el nivel i-ésimo del factor intensidad de raleo. i = Niveles de intensidad de raleo. ε = Error aleatorio $\sim N(0, \sigma^2)$.

En el año 1985 se estableció el ensayo, durante el verano de 1986 cuando el rodal tenía una edad promedio de 30 años se aplicaron los tratamientos (Navarro *et al.* 1997). Posteriormente, se evaluaron las respuestas los años 1990, 1996, 2002 y el año 2007; en 1996 el tratamiento raleo 2 m fue intervenido nuevamente dejando a los árboles con un distanciamiento promedio de 3 m (raleo 2-3 m).

Tabla 3-1. Resumen de los tratamientos de raleo en renovales de *D. winteri*, Hueicolla, Cordillera de la Costa de Valdivia.

Tratamiento	Nombre	Criterio	Repeticiones	Número parcela
1	Raleo moderado	2 m	3	5-9-17
2	Raleo fuerte	3 m	3	2-4-11
3	Raleo Severo	4 m	3	1-10-12
4	Raleo de Liberación	R. Liberación	3	3-8-16
5	Testigo	Control	3	6-7-15

3.4 Mediciones y evaluación de la información

En cada parcela se registraron las variables fisiográficas, altitud, exposición y pendiente. Se midieron todos los árboles mayores o iguales a 5 cm. de DAP con forcípula, previa identificación con número y marca perimetral con pintura a la altura de 1,3 m de cada uno de ellos. Las variables dendrométricas registradas fueron: DAP (diámetro a la altura del pecho), HT (altura total), sanidad, forma y dominancia. Para *D. winteri* se tomó una muestra de árboles, a los que se midió la altura total y altura comienzo de copa en cada una de las evaluaciones para estimar estos parámetros en base al DAP (3-2). Para las especies acompañantes se aplicaron en la estimación de las alturas las funciones construidas por Cox y Peters (1975) (3-3).

$$H = 9,252717 + 0,2523175 \times \text{DAP} \quad (3-2)$$

$$H = 15.413 - 1.5468 \times 100 / (\text{DAP} + 10) \quad (3-3)$$

Donde: H = altura total, DAP = diámetro a la altura del pecho.

Para cada una de las parcelas se obtuvieron tablas de rodal y existencia y elementos descriptivos del los rodales. Para la obtención de volúmenes se utilizó una función general de *D. winteri* (3-4) construida por Gunckel (1980), y funciones generales de volumen (3-5) construidas por Cox y Peters (1975) para las especies acompañantes.

$$V = 0,01222 + 0,0000315502 \times (\text{DAP})^2 \times H \quad (3-4)$$

$$V = 0,0152 + 0,0003213 \times (\text{DAP})^2 \times H \quad (3-5)$$

Donde: V = volumen otras especies. DAP= diámetro a la altura del pecho. H = altura total

Para efecto de obtener los productos que fueron definidos en base al mercado en Chile, se utilizó la función de ahusamiento (3-6) construida por Tapia (1988).

$$\frac{D_i}{\text{DAP}} = 1,94627 * \left[\frac{(\text{HT} - H_i)}{(\text{HT} - 1,3)} \right] - 1,86688 * \left[\frac{(\text{HT} - H_i)}{(\text{HT} - 1,3)} \right]^2 + 0,904505 * \left[\frac{(\text{HT} - H_i)}{(\text{HT} - 1,3)} \right]^3 \quad (3-6)$$

Donde: Di = es el diámetro con corteza a la altura Hi (cm); DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); HT = altura total del árbol (m).

Los productos en trozos se clasificaron de acuerdo a las dimensiones y calidades que demanda la industria en Chile, definiéndose como producto debobinable (P1), trozas con diámetro mínimo de 35 cm. y largo mínimo 2.5 m.; como producto aserrable (P2), trozas con diámetro mínimo de 20 cm. y largo 2.5 m. y el producto metro ruma o leña se definió como el volumen total del árbol descontándole los productos P1 y P2. Además, se consideró asignables a producto debobinable árboles con nota de sanidad 1 y forma 1, suma máxima dos entre ambos aspectos y árboles con suma igual a 3 se asignó a producto aserrable. Aquellos individuos con nota de calidad superior a tres de la suma de sanidad y forma se asignaron al producto metro ruma o leña en forma íntegra.

Para efectos de evaluar la relación entre tamaño de copa, crecimiento en diámetro medio cuadrático y niveles de densidad relativa, se tomó una muestra de cinco árboles dominantes por parcela a los cuales se le midió el área de copa y estimó la densidad relativa con la función desarrollada por Donoso *et al.* (2006). Para el estudio comparativo de los tratamientos se consideró la variación experimentada en el período por el diámetro medio cuadrático, área basal, densidad, volumen (bruto y por producto), calidad, crecimiento en diámetro, homogeneidad de rodales (De camino, 1976) y diversidad medida mediante el índice de Shannon-Wiener (Krebs, 1985). Se evaluó además la cantidad y las especies que están regenerando en cada tratamiento por clase de altura y se realizó un análisis del aumento de precio a nivel del árbol de área basal media y a nivel de rodal por niveles de densidad dejado en el raleo.

Se aplicaron análisis de varianza paramétrico y no paramétrico para determinar si existen diferencias significativas entre tratamientos y pruebas de comparaciones múltiples de Tukey y Dunn para definir grupos de tratamientos con respuestas similares. Se verificaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov y Smirnov y de homocedasticidad a través de la prueba de Bartlett. El nivel de significancia utilizado para las pruebas estadísticas fue de un 5%.

3.5 Resultados

3.5.1 Antecedentes dasométricos y de estructura antes del raleo.

Los renovales estudiados corresponden a bosques puros, de una edad promedio de 30 años al momento de intervenirlos, donde el *D. winteri* aporta con el 81,2% del número de árboles por hectárea, 81,4 % del área basal y 84,1% del volumen bruto total por hectárea. Las especies acompañantes definidas como “otras” no fueron analizadas individualmente, siendo las más frecuentes *Luma apiculata*, *A. luma*, *E. coccineum*, *E. cordifolia*, *Laurelia philippiana* y *Ovidia pillo pillo*.

Las densidades encontradas en las 15 parcelas son relativamente homogéneas, con un coeficiente de variación para el total de las especies de 20,33% y para *D. winteri* de 25,78%. Las especies acompañantes presentan fuerte variabilidad de la densidad, reflejada en el elevado coeficiente de variación que alcanza a 54,19%. (Tabla 3-2).

Para el total de las especies se observó una densidad media de 6.134 árb /ha, con valores extremos de 3.784 y 8.451 árb/ha. *D. winteri* participa con un promedio de 4.985 árb/ha, variando de 2.850 a 7.501 árb /ha (tabla 3-2). Estos valores son similares a los encontrados por Tapia (1988) y Balharry (1984), para las zonas de Corral-Valdivia y Lenca-Puerto Montt (tabla 3-2).

El área basal total promedio para estos renovales alcanza a 56.65 m²/ha, aportando el *D. winteri* 46,13 m²/ha. Respecto a los volúmenes para el total de especies, se determinó una cifra de 360,21 m³/ha, correspondiendo 300,56 m³/ha al *D. winteri* (83,44%), con crecimientos medios anuales de 1,65m²/ha año y 10 m³/ha. año respectivamente. Las alturas promedios de los árboles dominantes de *D. winteri* es 12, 26 m, con un crecimiento medio anual de 0,42 m/año, pudiendo alcanzar a la edad de 35 años 14,6 m (Navarro, 1993), correspondiente según Calquín (1986) a la clase de sitio 4, es decir, de productividad media. (Tabla 3-2).

Tabla 3-2. Antecedentes dasométricos originales de las parcelas a la edad de 30 años.

Nº parcela	<i>D. winteri</i>					OTRAS					TOTAL				
	N	G	VT	Dc	HT	N	G	VT	Dc	HT	N	G	VT	Dc	HT
1	3.364	46,6	292	13,3	13,2	1.100	7,7	51,6	8,6	10,1	4.467	54,3	346,3	12,4	13,2
2	3.484	47,6	298	13,2	13,4	1.002	6,4	45,1	9,0	14,4	4.484	54,0	343,5	12,4	13,5
3	4.050	22,4	165	8,4	11,7	2.867	24,6	35,2	10,5	11,5	6.918	47,0	200,1	9,3	11,7
4	5.767	40,1	263	9,4	11,5	1.183	10,5	65,5	10,5	13,6	6.951	50,4	328,9	9,6	11,9
5	5.901	49,7	316	10,4	10,3	383	8,0	35,3	16,3	10,2	6.284	57,7	351,4	10,8	12,2
6	4.867	44,2	294	10,7	11,8	716	7,5	33,5	11,5	13,6	5.584	51,7	327,2	10,8	12,0
7	2.850	43,5	288	13,9	12,4	933	10,5	48,3	11,9	13,3	3.784	53,9	335,9	13,5	12,6
8	4.134	44,8	284	11,7	12,5	1.383	14,2	78,6	11,4	13,9	5.517	59,0	362,3	11,7	12,5
9	7.501	48,8	343	9,1	11,9	950	6,3	39,1	9,3	13,8	8.451	55,3	382,3	9,1	12,1
10	5.684	38,9	256	9,3	12,5	617	5,6	32,9	10,8	14,2	6.301	44,5	288,4	9,5	12,6
11	5.134	60,5	384	12,2	13,4	467	4,8	26,9	11,4	12,4	5.601	65,3	410,7	12,2	13,3
12	3.384	33,8	217	11,3	13,0	1.950	10,6	77,8	8,3	13,8	5.334	44,5	295,0	10,3	13,1
13	4.000	32,0	215	10,9	12,8	1.600	16,2	81,8	11,4	12,5	5.601	48,2	296,6	10,5	12,7
14	5.817	59,3	379	11,4	11,9	250	2,1	10,2	10,2	13,9	6.067	61,3	389,0	11,3	12,0
15	5.934	54,6	339	10,8	11,7	1.383	13,0	61,4	10,9	14,2	7.318	67,6	400,8	10,9	12,2
16	6.101	60,4	393	11,2	12,4	1.233	8,7	55,1	9,5	15,2	7.334	69,1	447,7	11,0	12,4
17	5.251	57,4	381	11,8	12,8	1.033	16,8	72,8	14,4	12,8	6.285	74,2	453,6	11,9	12,8
18	6.501	45,8	303	9,5	11,5	1.617	15,8	68,3	11,2	14,1	8.118	61,6	371,6	9,8	12,0
Promedio	4.985	46,1	300,5	11,0	12,3	1.149	10,5	51,1	11,0	13,0	6.134	56,7	351,6	10,9	12,5
C.V. (%)	25,8	22,4	21,1	13,9	6,5	54,2	51,8	40,0	18,0	11,7	20,3	15,2	17,1	11,2	4,3

Fuente: Navarro et al. 1997.

La distribución diamétrica de estos bosques en condiciones sin manejo presentan curvas exponenciales negativas de forma J inversa, producto de la mayor participación de árboles de similares edades en las clases diamétricas menores, y no a la participación de diferentes clases de edad, lo que es característico de renovales jóvenes en sitios de productividad media (Navarro *et al.* 1997). La forma de la curva queda determinada por un fuerte proceso de competencia por luz y espacio entre los individuos de *D. winteri*, que presentan en promedio 4.459 árb/ha y 29,84 m²/ha de área basal en las clases diamétricas menores a 15 cm, equivalente al 72,04% y 52,31%, respectivamente, del total del bosque (Navarro *et al.* 1997).

3.6 Antecedentes después del raleo.

3.6.1 Tratamientos.

Las distintas intervenciones tienen características de un raleo por lo bajo grado C y D (Nyland, 2002) o raleo mixto (Navarro *et al.* 1997), de acuerdo el número de árboles y área basal extraída según tipo de dosel, que corresponden fundamentalmente a árboles de las clases diamétricas menores, lo que produjo un aumento del diámetro medio cuadrático del bosque residual y la liberación de las copas de los árboles del dosel superior, dejando como árboles futuros principalmente de la especie *D. winteri* del dosel superior y de buena calidad.

Los mayores porcentajes de extracción corresponden a las clases diamétricas menores en términos de número de árboles; criterio técnico adecuado para un renoval muy joven dominado por una especie de tolerancia media, con distribución diamétrica que indica una alta mortalidad en las clases menores para el período evaluado y en que el 67% de los árboles se encuentran en las calidades 1 y 2 distribuidos en todos los estratos. Las cifras en términos de número de árboles alcanzaron a 64,39, 80,73 y 88,60 por ciento, para los tratamientos con

distanciamientos a 2, 3 y 4 metros respectivamente, mientras que el raleo de liberación, similar en intensidad al raleo a 4 m, experimentó una cifra de 89,12%. Las clases diamétricas más afectadas fueron las de tamaño 5 a 10 cm de diámetro, que corresponden a individuos que formarán parte de la mortalidad del renoval y en menor porcentaje los individuos de los doseles intermedios y dominantes. (Figura 3-2).

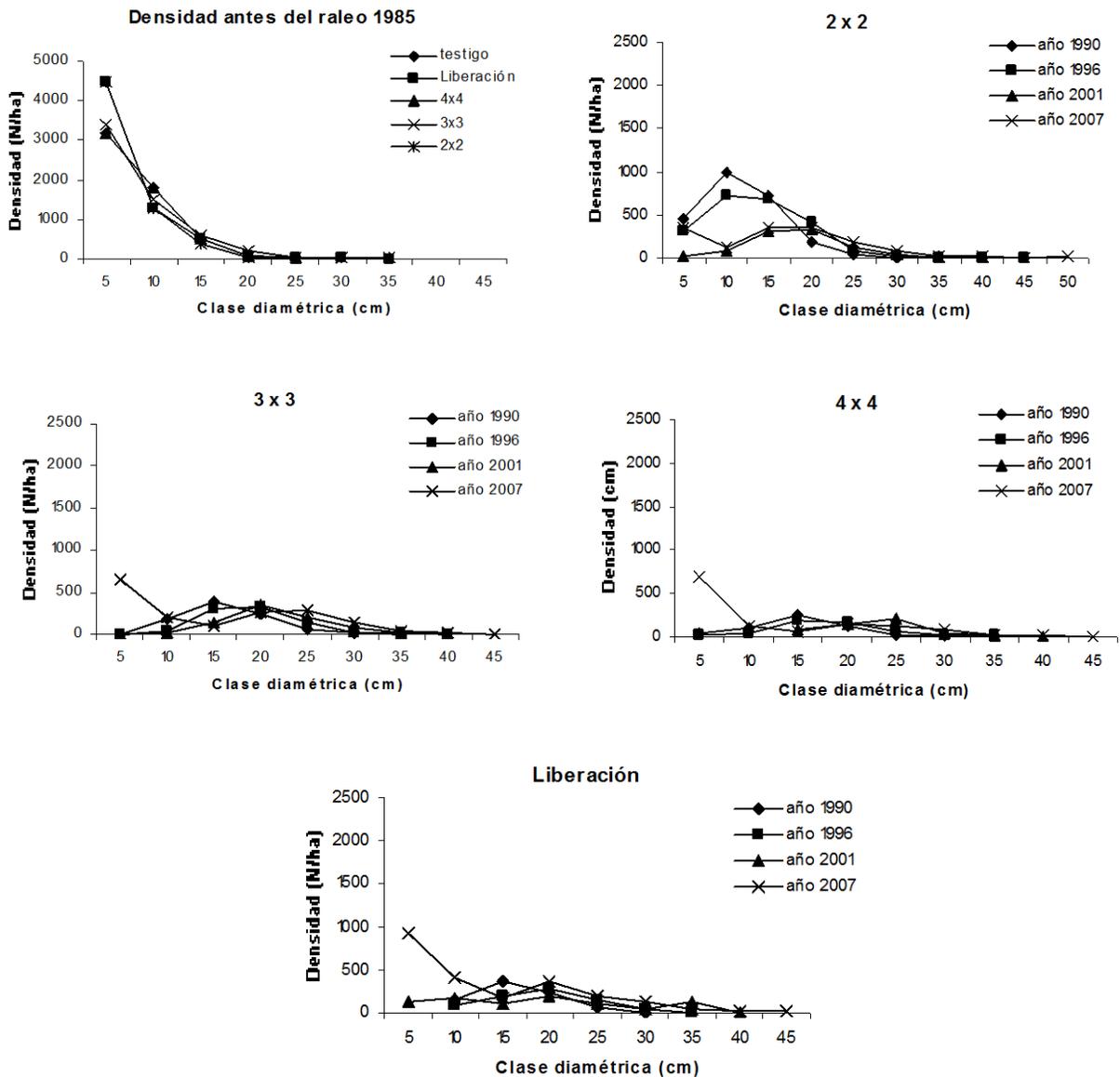


Figura 3-2. Estructura diamétrica por tratamiento para el período de evaluación 1985 al 2007.

La distribución diamétrica resultante de las intervenciones muestran una forma normal aplanada con tendencia a la normal, a excepción del raleo a 2 m que presenta una cifra mayor del orden de 400 árb/ha en las clase 5 a 10 cm, con presencia de especies tolerantes y de *D. winteri*. En los otros tratamientos prácticamente no se dejaron individuos en esta clase diamétrica (figura 3-2).

El año 2007 se midió los árboles que se incorporaron al bosque en el período, observando cifras de 400 a 1000 árboles por hectárea en la clase 5 a 10 cm, observando mayor presencia de las especies arrayán, luma y *D. winteri* en los raleos más intensos de 4 m, 3 m y liberación, en tanto en el raleo a 2 m existe prácticamente solo presencia de luma; en menor medida se observó *L. phillippiana*, *W. trichosperma* y *E. cordifolia*, y no se determinó relación con la intensidad del raleo.

La forma de la curva diamétrica después de las intervenciones corresponden a curvas con tendencia a la normal, creando las condiciones que permiten la regeneración y desarrollo con mayor frecuencia de las especies *A. Luma* y *L. phillippiana*, a través de la creación de huecos en el bosque que crean las condiciones apropiadas para la regeneración y establecimiento de estas especies (Figura 3-2).

Los tratamientos de mayor intensidad presentan una forma de la curva diamétrica normal aplanada y mayores tamaños de los individuos, favoreciendo el ingreso de especies *L. phillippiana*, *A. luma* y *E. cordifolia* e incluso tolerantes como *Saxegothaea conspicua*; los tratamientos de menor intensidad favorecen la entrada y desarrollo de especies *L. phillippiana*, *A. luma*, *W. trichosperma* y *E. cordifolia*. Destaca la no presencia de *D. winteri*, en los tratamientos de mayor intensidad. (Tabla 3-3).

Tabla 3-3. Regeneración natural después de 21 años de la intervención.

	Tratamientos				
	Testigo	Liberación	2x2 a 3x3	3x3	4x4
<i>D. winteri</i>	-	834	-	-	-
<i>A. luma</i>	17.500	24.583	14.167	17.083	16.250
<i>S. conspicua</i>	-	-	2.500	6.250	417
<i>L. phillypiana</i>	19.167	18.750	22.500	32.917	19.167
<i>Caldecluvia paniculata</i>	833	-	-	833	-
<i>W. trichosperma</i>	-	1.667	1.250	-	833
<i>G. avellana</i>	417	-	-	-	-
<i>E. cordifolia</i>	417	834	-	-	833
Total	38.333	46.667	40.417	57.083	37.500

3.6.2 Número de árboles y mortalidad.

El análisis de varianza para el número de árboles por hectárea en las parcelas antes del raleo (1985) demostró que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$), es decir, las densidades eran estadísticamente iguales. Para los períodos 86 al 07 el análisis de varianza arrojó que si existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) y la prueba de Tukey aplicada a las densidades resultantes de las intervenciones (1986) determinó tres grupos con rangos medios similares: el primero (a) constituido por el testigo; el segundo grupo (b) formado por el raleo a 2 m; y el tercer grupo (c) que corresponde a los tratamientos de liberación, 3 y 4 m (anexo 3-1).

La mortalidad producida en el período de 4 años posterior a las intervenciones (86 al 96) significó como lo muestra la tabla 3-3 (anexo 3-1), conformar solo 3 grupos con rangos medios similares de densidad, los que se mantienen hasta el año 1996, año donde el tratamiento a 2 m es intervenido nuevamente, formándose a partir del año 2001 solo dos grupos conformados por el tratamiento testigo con una alta mortalidad (a) y un segundo grupo de mortalidad menor (b) compuesto por los demás tratamientos, tendencia que se mantiene hasta el año 2007. Las comparaciones múltiples mostraron que solo el tratamiento testigo fue

estadísticamente distinto del resto y presentó una mayor mortalidad en el período (figura 3-3 y anexo 3-1).

La mortalidad producida para el período 86 al 2007, muestra claramente que el tratamiento testigo es el que presenta una mayor mortalidad, con una cifra de 2562 árb ha⁻¹, lo que indica el criterio de intervención que se debe aplicar en estos bosques, ya que es atribuible a la alta competencia que existe entre los individuos; caso contrario ocurre en las parcelas raleadas, donde las curvas de densidad no muestran grandes variaciones. En los tratamientos de raleo se produjeron mortalidades de 105, 266, 477 (2-3 m) y 117 árboles por hectárea para los tratamientos de raleo a 4, 3, 2 -3 y liberación en el período de 21 años. (Figura 3-3 y anexo 3-1).

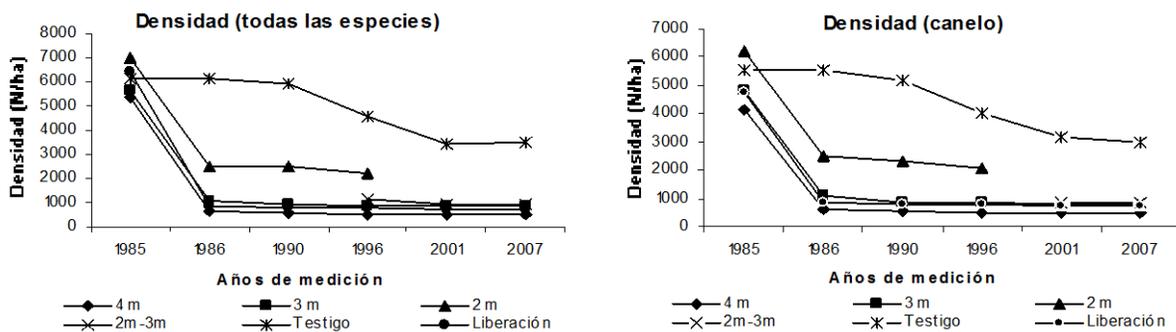


Figura 3-3. Valores de la densidad para el período de medición 1985 -2007.

En términos relativos el tratamiento a 3 m presentó la más alta tasa de mortalidad con un 4,36% para todas las especies presentes y un 5,22% para *D. winteri*, correspondiente a la primera evaluación después de la intervención, período 86-90. Esta cifra promedio del tratamiento se explica por la alta mortalidad por viento de una unidad muestral, que experimentó una cifra de 9.3%, lo que produjo la caída de árboles en forma agrupada; sin embargo, al comparar los tratamientos sin considerar esta unidad muestral, el promedio de mortalidad para este tratamiento es de un 1,5%, muy similar al tratamiento de raleo a 4 m para el período de medición.

Se observa además, que los tratamientos de raleo a 3 m, 4 m, y de liberación son muy similares en términos de densidad post-raleo; no así en la mortalidad, con tasas muy inferiores en el tratamiento de raleo de liberación, explicado por mantener un estrato de protección de mirtáceas en el estrato inferior (figura 3-3).

3.6.3 Variación del diámetro medio cuadrático (DMC) y crecimiento diametral.

Para el DMC el año 1985, no se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos, para los otros años de medición si se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$), observando diferencias entre el tratamiento testigo con los demás tratamientos después de 21 años. Al considerar el período 1986 al 1990, que corresponde a la primera evaluación de las intervenciones, se obtuvieron 3 grupos, explicados por la intensidad del raleo: el primero (a) lo integran el raleo a 4 m, 3 m y de liberación, el segundo grupo (b) lo formó el raleo a 2 m y finalmente el tratamiento testigo formó el tercer grupo (c). Desde el año 1996, cuando se realizó el segundo raleo al tratamiento de 2 m, hasta el año 2007, se conformaron solo dos grupos, uno constituido por el tratamiento testigo (b) y otro correspondiente a los tratamientos de raleo. Los tratamientos de mayor intensidad presentan un mayor DMC (figura 3-4 y anexo 3-2).

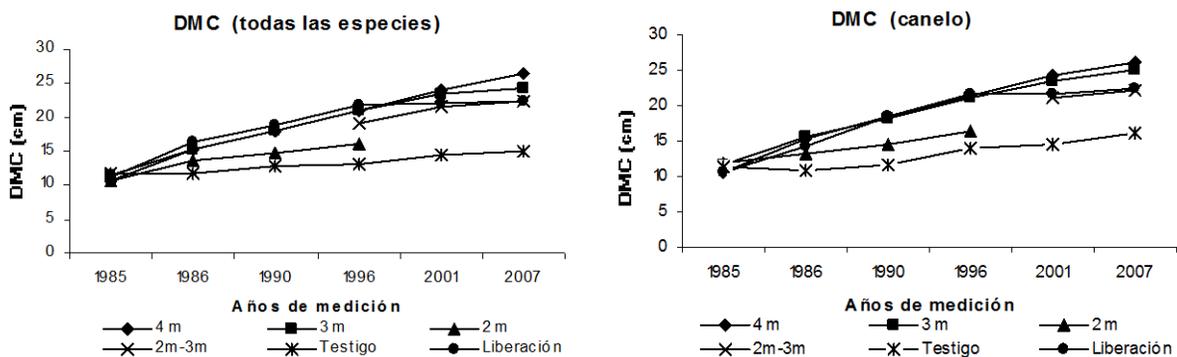


Figura 3-4. Valores de DMC en todos los años de medición.

Al considerar como variable el DMC para definir el tratamiento más adecuado, se puede señalar que el tratamiento de raleo a 4 m entre árboles y dejando una densidad media de 611 árb/ha es el que ha experimentado a nivel de árbol los mejores resultados, determinándose crecimientos anuales entre 0.8 cm/año para el período 86-90 y 0,42 cm/año para 01-07, con un crecimiento anual promedio para el período de 21 años de 0,56 cm/año; los crecimientos disminuyen a medida que se reduce la intensidad de raleo. (Figura 3-4 y anexo 3-2).

El tratamiento a 3 m experimentó crecimientos diametrales similares a los tratamientos de mayor intensidad, lo que indica que el área basal promedio disponible para cada árbol en el raleo a 3 m permite que estos expresen su máximo potencial de crecimiento en el período de 21 años, no siendo aconsejable aumentar la intensidad de la intervención, esto se puede observar en la figura 3, donde los tratamientos de raleo a 3 m, 4 m y liberación presentan tendencias muy similares. El tratamiento de 2 m luego de ser nuevamente intervenido el año 96 tiene un aumento en DMC, lo que permitió desde ese año que la curva se acerque mucho más a la de los tratamientos de raleo más intensos, no experimentando en la medición 2007 diferencias significativas ($p > 0,05$) con estos tratamientos (figura 3-4).

Las curvas presentan una relación lineal, determinando una mayor pendiente en los tratamientos de mayor intensidad y la menor en el tratamiento testigo. Al considerar solo la especie canelo, excluyendo las especies acompañantes se repite la tendencia, con la salvedad que la pendiente es mayor en este caso respecto de considerar todas las especies.

3.6.4 Distribución de frecuencias según clases de crecimiento para árboles cosecha o de calidad superior.

La distribución de frecuencias de crecimiento, según clases de crecimiento diametral anual por tratamiento después de 21 años de intervenciones (figura 3-5), muestra la tendencia a una curva normal en los raleos a 3 m, 4 m y liberación, con respuestas en crecimientos en los primeros cuatro años hasta la clase 1,60 a 1,79 cm/año, disminuyendo su crecimiento diametral a medida que aumenta la edad del renoval y se reduce el efecto del raleo. En estos tratamientos el porcentaje de árboles que se ubican en la clase 1 de crecimiento (0,01 a 0,19) es de un 5%, mientras que el tratamiento testigo presenta un 47%, lo que muestra el efecto del raleo después de 21 años desde la intervención respecto de árboles similares del testigo. El tratamiento testigo muestra claramente una distribución de frecuencias de forma exponencial negativa, con crecimientos máximos entre 1,00 a 1,19 cm año⁻¹ para el período 90-07, concentrando más de un 70% de los árboles con crecimientos entre las clases 1 y 2 en todos los períodos de medición, lo que indica un estado mínimo de crecimiento para el potencial de la especie. El tratamiento de raleo a 2 m presentó una curva irregular para el período, pero muestra muy claramente un estado mínimo de crecimiento muy similar al tratamiento testigo, que se expresa en la primera evaluación post-raleo con más de un 80 % de la muestra distribuida en las tres primeras clases de crecimiento, es decir, con cifras de 0,01 a 0,59 cm/año de crecimiento anual periódico, lo que indica que este tratamiento es muy suave para el potencial de crecimiento de la especie; sin embargo, reduce el riesgo de caída de árboles por viento. Los tratamientos de mayor intensidad presentan después de 21 años, aún crecimientos en las clases mayores, destacando el raleo a 4 metros con el 50% de los individuos en la clase de crecimiento superior a 0,60 cm/año, el raleo a 3 m el 15% y el de liberación no alcanza el 10% de los individuos. (Figura 3-5).

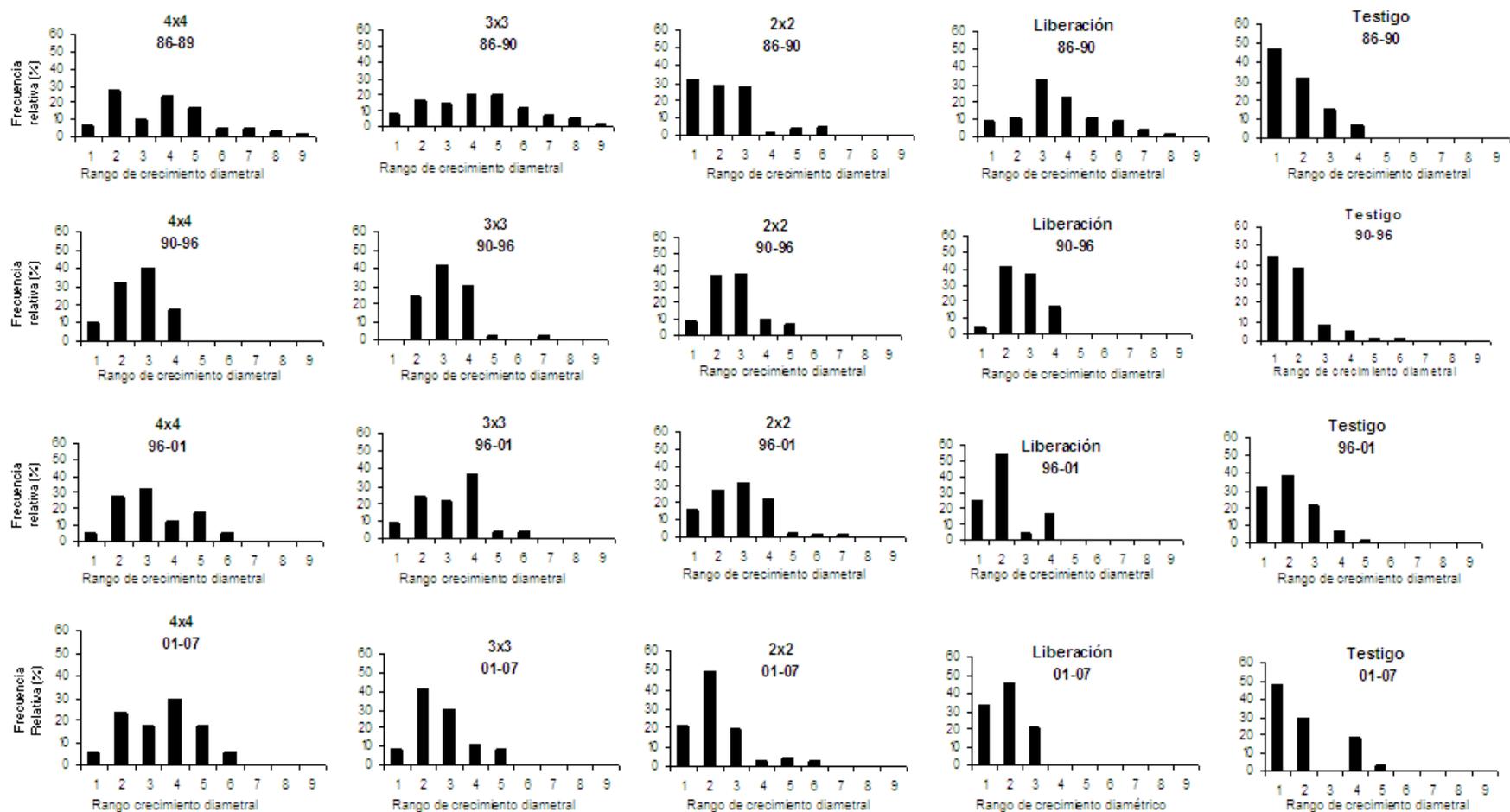


Figura 3-5. Distribución de frecuencias de crecimiento diametral anual por tratamiento. (Rango crecimiento diametral: 1= 0.01 - 0.19; 2= 0.20 - 0.39; 3=0.40 - 0.59; 4=0.60 - 0.79; 5=0.80 - 0.99; 6=1.00 - 1.19; 7=1.20 - 1.39; 8=1.40 - 1.59; 9=1.60 - 1.7.

Lo planteado anteriormente, se explica por mayor el desarrollo del área de copa de los árboles liberados, determinando cifras de 11,85 m² árbol⁻¹ para el tratamiento del raleo severo (4 m), 6,14 m² árbol⁻¹ para el raleo fuerte (3 m), 5,53 m² árbol⁻¹ para el moderado (2- 3 m) y 4,20 m² árbol⁻¹ para los árboles dominantes del tratamiento testigo. Se determinó un mayor CAP a mayor área de copa y a menor índice de densidad (IDR) relativa ya que se produjo un aumento del desarrollo de la copa de los árboles dejados en el raleo y un mayor tamaño del árbol en términos de diámetro y volumen. (Tabla 3-4).

Tabla 3-4. Resultados de índice de densidad relativa (IDR), mortalidad, área de copa promedio y crecimiento anual periódico de árboles dominantes para los tratamientos de raleo después de 21 años de aplicadas las intervenciones - Cordillera de la Costa de Valdivia - Chile. (*)

Tratamiento	IDR 86(**) - 2007	Mortalidad por competencia 2007	Área de copa (m ² árbol ⁻¹)	CAP (cm año ⁻¹)
Raleo 2 (moderado)	0,37 - 0,49	Baja	5,53	0,55
Raleo 3 (fuerte)	0,21 - 0,43	No presenta	6,14	0,61
Raleo 4 (severo)	0,12 - 0,32	No presenta	11,85	0,75
Raleo de Liberación (severo)	0,15 - 0,38	No presenta	7,50	0,60
Testigo	0,67 - 0,64	Alta	4,60	0,20

IDR: Índice de densidad Relativa; CAP: Crecimiento anual periódico
* corresponde a una muestra por tratamiento.** IDR 1 año post-raleo

3.6.5 Variación del área basal y volumen.

Los tratamientos presentan porcentajes de extracción límites que varían entre 39,28% a 79,15 % en términos de área basal y de 45,2 a 78,7 % en volumen para los tratamientos de raleo de 2 m y de liberación respectivamente (tabla 3-5). *D. winteri* aporta en los tratamientos de distanciamiento a 3 m, 4 m, y raleo de liberación el 98% del área basal después del raleo, participando en los tratamientos testigos y raleo a 2 m con el 82%.

El análisis de varianza antes del raleo determinó que previo a la aplicación de los tratamientos, no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), tanto para el área basal como para el volumen; en los períodos posteriores post-raleo, estas variables experimentaron diferencias significativas ($p < 0,05$). Los grupos con respuestas similares se ordenan en el tiempo en base a la intensidad del raleo y el principio del rendimiento final constante (tabla 3-5), destacando que:

- a)** En el último período (2007) de medición existen dos grupos el testigo (a) y los tratamientos de raleo (b).
- b)** En los resultados de las intervenciones post-raleo (86) se forman tres grupos para el área basal; sin intervención y raleo moderado a 2 m conforman un grupo (a), los tratamientos con intensidad fuerte correspondiente al raleo 3 m un segundo grupo (b) y un tercer grupo los forman los raleos severos representados por los raleos a 4 m y de liberación (c). En términos de volumen se forman tres grupos; testigo (a), raleo liberación, raleo 2 m y raleo 3m (b) y un tercer grupo correspondiente al raleo a 4 m (c).
- c)** La respuesta a las intervenciones en el período 86 - 2007 genera tanto para el área basal como volumen complejas interacciones. A medida que transcurre el tiempo los grupos de tratamiento de raleo ocupan el espacio liberado y se acercan a la capacidad de carga del sitio representado por el control, lo que constituye que el 2007 se formen dos grupos, sin intervención e intervenidos. La proyección en el tiempo y bajo el principio del rendimiento final constante se espera que los tratamiento de raleo y control formarán con este criterio un solo grupo. Sin embargo, esto no ocurrirá en términos de volumen de trozas aserrables de calidad o productos debobinables. Un factor perturbador de esta lógica es el riesgo de caída de árboles por viento, que aumenta con la intensidad del raleo y edad del renoval y el concepto de área basal aditiva que no ha sido estudiado en estos bosques.

Los tratamientos más intensos presentaron luego de la intervención un aumento en las tasas de crecimiento en área basal a medida que se intervino con mayor intensidad, a excepción del tratamiento de 3 m, que producto de la mortalidad por viento aumentó muy poco; pero luego de este período muestra un fuerte incremento. Se puede observar que los tratamientos de liberación y 2 - 3 m llegan al último período de medición con áreas basales muy similares, en cambio el tratamiento a 4 m se mantiene con cifras inferiores, pero siempre con una curva con la misma pendiente, lo que hace suponer que este tratamiento va a seguir creciendo a tasas crecientes (tabla 3-5 y figura 3-6).

La mayor tasa de crecimiento en área basal para el total de especies respecto del *D. winteri*, lo explica la mayor presencia de las especies tolerantes y de tolerancia media, que se establecieron y desarrollaron adecuadamente bajo la cobertura residual. Los tratamientos más intensos, muestran una tendencia muy similar entre sí, poseen pequeñas fluctuaciones de crecimientos entre los períodos de medición, lo que se ve reflejado en los cambios de la pendiente de las curvas (figura 3-6).

En términos de volumen, los tratamientos presentan tendencias similares al área basal, destacando un CAP neto del orden de 4 a 6 m³ ha año⁻¹ para los 21 años de medición, correspondientes a los tratamientos testigo y raleo a 3 m. En CAP bruto destacan los tratamientos más intensos de raleo a 4 m, 3 m y Liberación con cifras de 16,9; 17,20 y 19 m³/ha/año; en un segundo nivel se encuentra el raleo a 2-3 m con 13,1 m³/ha/año y finalmente el testigo con 4,8 m³/ha/año. Estos resultados relevan el potencial silvícola de estos bosques, y la necesidad de su intervención oportuna, más aún, cuando experimentan altas cifras de mortalidad sin manejo en edades de 30 a 50 años en estos sitios (figura 3-6).

Tabla 3-5. Variación del área basal (m^2/ha) y volumen (m^3/ha) por tratamiento para el período de medición.

Tratamiento	Área Basal 1985	Área Basal 1986	Área Basal 2007	Crecimiento Periódico Neto 86-07	Crecimiento Anual Periódico Neto (CAP)	Crecimiento Anual Periódico Bruto *
4 m	47,8	10,9 c	27,9 b	17,0	0,80	2,55
3 m	56,6	20,4 b	39,5 b	19,1	0,91	2,63
2 m	62,4	36,2 a	-	-	-	-
2m-3m	-	-	36,2 b	3,70	0,34	1,64
Testigo	57,7	57,7 a	78,3 a	20,6	0,98	0,98
Liberación	64,1	17,2 c	34,4 b	17,2	0,82	3,05

Tratamiento	Volumen 1985	Volumen 1986	Volumen 2007	Crecimiento Periódico Neto 86-07	Crecimiento Anual Periódico Neto	Crecimiento Anual Periódico Bruto *
4 m	309.1	65.8 c	179.8 b	114,0	5,4	16,90
3 m	361,0	125.2 b	251.3 b	126,1	6,0	17,20
2 m	395.8	216.7 b	-	-	-	-
2m-3m	-	-	240.1 b	50,7	4,62	13.10
Testigo	354.7	354.7 a	439.4 a	84,7	4,03	04,03
Liberación	405.0	107.3 b	208.8 b	101,5	4,83	19,00

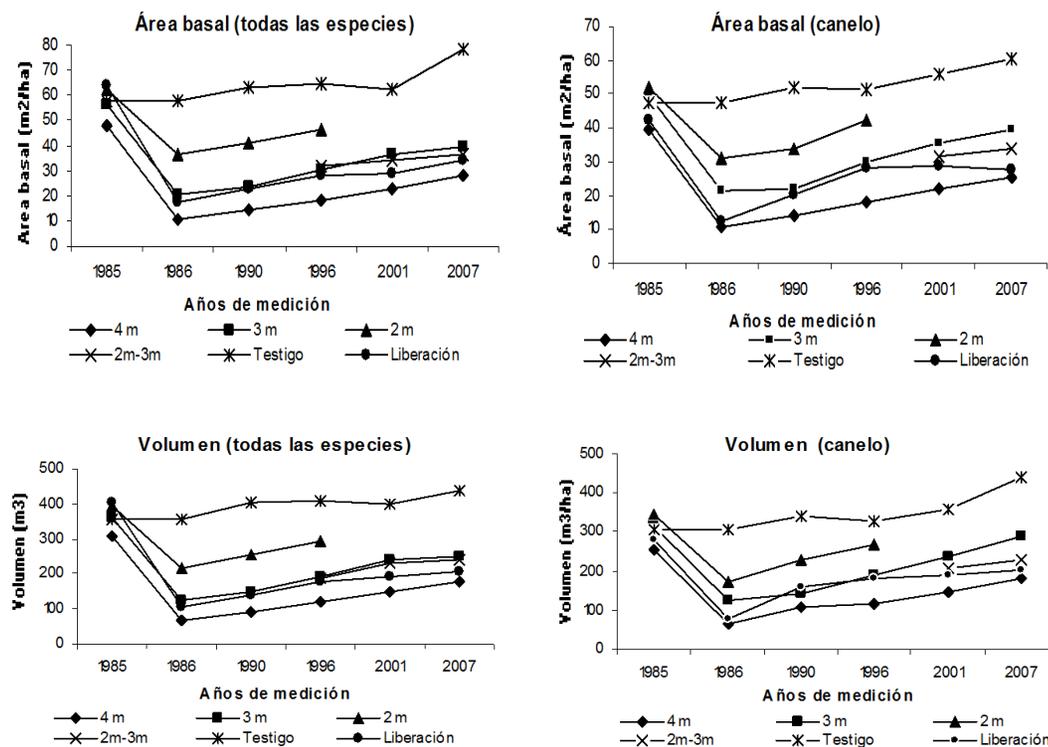


Figura 3-6. Valores de área basal y volumen en el período de evaluación.

3.6.6 Calidad del rodal y productos.

En términos de calidad para *D. winteri* los tratamientos de raleo a 3 y 4 m son los que poseen el mayor porcentaje de número de árboles por hectárea de calidad 1 (61,0% y 60,9% respectivamente); en segundo lugar los tratamientos de 2 metros con un 48% y el de liberación con un 50,3%, manteniéndose también la tendencia para el total de especies. El tratamiento testigo es el que presenta el mayor porcentaje en la calidad 3, con un 55 %, tanto para *D. winteri* como para todas las especies presentes (tabla 3-6). En términos absolutos los tratamientos presentan cifras de volumen total de calidad 1 similares; sin embargo las menores tasas de crecimiento en el tratamiento testigo implican menores dimensiones o un mayor tiempo para alcanzar el tamaño de árbol objetivo, lo que implicaría una menor producción económica del sitio.

Los tratamientos con mayor intensidad (3m, 4m y liberación) después de 21 años de realizado el raleo, a una edad promedio de 50 años, presentan entre un 34% a 47% del volumen total de producto aserrable, en contraste al tratamiento testigo que obtiene solo un 16% (tabla 3-7). El alto porcentaje de madera aserrable se debe a que en las parcelas intervenidas, al momento del raleo, se dejaron los árboles que presentaban mejor calidad, sanidad y forma. Los árboles residuales al tener mayor espacio libre, presentan mayores crecimientos diametrales después de la intervención respecto del tratamiento testigo; que presenta mayor competencia, mala sanidad en términos relativos y menores diámetros, obteniendo productos aserrables en muy baja proporción respecto del volumen total; no así en términos absolutos que es muy similar la cifra a los tratamientos con intervención (tabla 3-7).

Tabla 3-6. Parámetros del rodal según calidad año 2007.

<i>D. winteri</i>	Calidad 1					Calidad 2					Calidad 3				
TRATAMIENTOS	N/ha	G	DMC	VOL	N/ha (%)	N/ha	G	DMC	VOL	N/ha (%)	N/ha	G	DMC	VOL	N/ha (%)
4X4	300	16.6	26.8	110.3	59.3	161	7.9	27	55.2	31.8	22	1.1	25.5	7.6	4.3
3X3	495	26.2	26	154.2	59.8	218	10.2	25.4	65.7	26.3	98	3.2	20.4	25.8	11.8
2X2 a 3x3	480	18.9	22.4	136.2	51.7	222	8.3	21.9	53.2	23.9	170	7.1	23.1	45.3	18.3
Testigo	578	14.1	17.7	103.4	16.6	789	20.5	19	150.5	22.7	1633	34.2	16.2	157.8	46.9
Liberación	420	22.8	23.9	112.6	59.3	204	7.89	22.2	63.5	28.8	84	2.3	18.7	36.8	11.9

Otras especies	Calidad 1					Calidad 2					Calidad 3				
TRATAMIENTOS	N/ha	G	DMC	VOL	N/ha (%)	N/ha	G	DMC	VOL	N/ha (%)	N/ha	G	DMC	VOL	N/ha (%)
4X4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	0.5	21.1	1.2	4.5
3X3	-	-	-	-	-	11	0.35	20.4	3.4	1.3	6	0.1	16.3	2.9	0.7
2X2	11	0.4	22.4	2.7	1.2	16	0.58	21.5	3.9	1.7	29	1.1	22.1	7.48	3.1
Testigo	80	0.98	12.5	6.6	2.3	102	1.5	13.7	10.2	2.9	301	3	11.3	20.4	8.6
Liberación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Total especies	Calidad 1					Calidad 2					Calidad 3				
TRATAMIENTOS	N/ha	G	DMC	VOL	N/ha (%)	N/ha	G	DMC	VOL	N/ha (%)	N/ha	G	DMC	VOL	N/ha (%)
4X4	300	16.6	26,8	110.3	59.3	161	7.9	25,1	55.2	31.8	45	1.6	24,7	8.8	8.9
3X3	495	26.2	27,1	154.2	59.8	229	10.55	32,4	69.1	27.7	104	3.3	25,8	28.7	12.6
2X2	491	19.3	24,4	138.9	52.9	238	8.88	25,0	57.1	25.6	199	8.2	24,7	52.78	21.4
Testigo	658	15.08	17,0	110	18.9	891	22	18,6	160.7	25.6	1934	37.2	18,5	178.2	55.5
Liberación	420	22.8	27,3	112.6	59.3	204	7.89	25,2	63.5	28.8	84	2.3	22,9	36.8	11.9

Donde: N/ha = Número de árboles por hectárea; G/ha = Área basal por hectárea; DMC = Diámetro medio cuadrático; Calidad 1 = sanidad 1 y forma 1 ó 2; Calidad 2 = sanidad 2 y forma 1 ó 2; Calidad 3 = sanidad 3 ó forma 3.

El tratamiento de raleo a 3 m presenta un mayor volumen aserrable en términos absolutos, con 118 m³/ha, seguido de los otros tratamientos de raleo con cifras muy similares, del orden de los 85 m³/ha. En términos relativos, se observaron incrementos de volumen aserrable de +467, +322, +132, +60, +206 por ciento en los tratamientos de 4 m, 3 m, 2-3 m, testigo y liberación respectivamente. Existe relación directa entre intensidad de raleo e incremento del volumen aserrable (tabla 3-7).

El volumen pulpable y leña presentó incrementos de +24, +27,5, -27,9, +0,30 y +8,5 por ciento, para los tratamientos de raleo de 4, 3, 2-3, testigo y liberación. Destaca el no aumento de este producto en el tratamiento testigo, explicado por la pérdida de volumen a causa de la mortalidad de las clases menores y la ausencia de productos debobinables por no alcanzar aún los diámetros mínimos que exige la industria.

Tabla 3-7. Variación del volumen neto aserrable, pulpable y leña (m³/ha) por tratamiento y años de medición, para *D. winteri* y el total de especies.

Tratamiento	Volumen aserrable (1) Todas				Volumen aserrable (1) <i>D. winteri</i>			
	1990	1996	2001	2007	1990	1996	2001	2007
4 m	15.1	34.3	59.8	85.7	13	34.3	59.4	84.5
3 m	28.1	50.2	88.3	118,6	27.7	49.9	87.5	97,6
2 m	35.8	45	-	-	19.9	35.5	-	-
2m-3m	-	-	-	83.2	-	-	60.9	82,3
Testigo	55.9	53.3	61.7	89.3	22.9	44.7	56.3	70.5
Liberación	28.1	53.2	71.5	86.2	28.1	53.2	71.5	86.2
Tratamiento	Volumen pulpable y leña (2) todas				Volumen pulpable (2) y leña <i>D. winteri</i>			
	1990	1996	2001	2007	1990	1996	2001	2007
4 m	75.6	84	91.3	94.1	75.3	81.2	87.8	89.1
3 m	120.5	144.3	150.2	153.7	115.1	141.6	148.2	124.9
2 m	218.8	240.5	-	-	209.1	229.9	-	-
2m-3m	-	-	155.2	157.8	-	-	144.8	145.7
Testigo	348.9	354.9	337.7	350.1	318	318.1	312.8	334.5
Liberación	112.9	127.4	118.5	122.6	112.9	127.4	118.5	122.6

(1) Diámetro menor mayor a 25 cm y calidad 1 y 2.

(2) Diámetros entre 10 y 25 cm y calidades 1, 2 y 3.

3.6.7 Variación de precio, diversidad y homogeneidad de rodales.

El aumento de precio a causa del esfuerzo silvícola después de 21 años de efectuadas las intervenciones, indican que la intensidad del raleo aumenta el precio del árbol de área basal media entre tres a cinco veces respecto de no intervenirlos, encontrando relación directa entre intensidad de raleo y aumento de precio. A nivel de bosque aumenta el precio del bosque a mayor intensidad del raleo hasta un nivel de área basal residual de 20 m²/ha o 35% respecto del testigo, sobre esta cifra se reduce. Las cifras a nivel de árbol varían de 1 a 6 US\$/árbol, correspondientes al testigo y raleo a 4 m; a nivel de bosque varían de 3.500 a 5.500 US\$/ha para el testigo y raleo a 3 m (figura 3-7, a). Los valores aumentan en términos absolutos al incorporar el volumen extraído en el raleo, pero sin cambiar la tendencia anterior, ya que prácticamente lo extraído es producto leña (figura 3-7 b).

Las cifras al considerar la extracción son similares para los tratamientos de raleo 2-3 m, 3 m y liberación; lo que indica que es factible implementar aquel tratamiento de menor costo y riesgo de caída de árboles por viento, en este caso el raleo de 2-3 m.

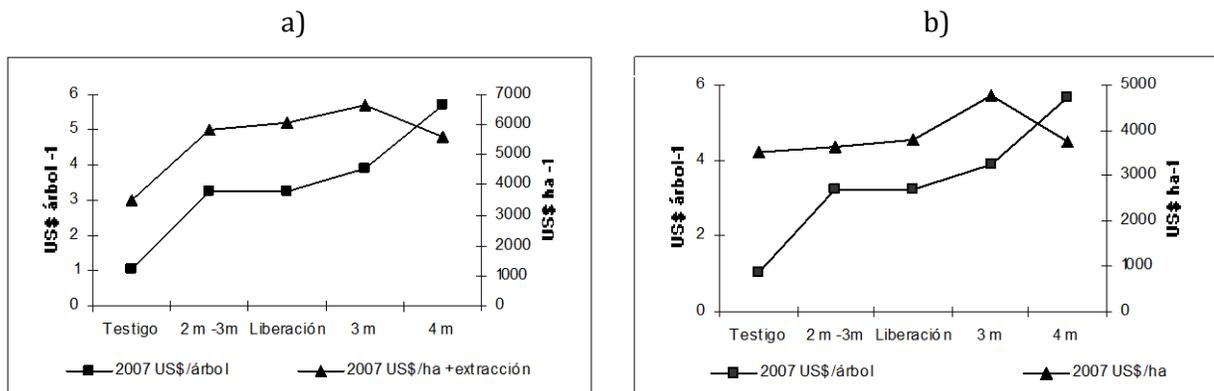


Figura 3-7: a) Valor del árbol de área basal media (US\$ árbol⁻¹) v/s Valor del bosque (US\$ ha⁻¹) agregando el volumen extraído en el raleo (a) y sin agregar (b).

Los tratamientos de raleo reducen la diversidad y aumentan la homogeneidad de los rodales en el período de evaluación. Elementos que al ser considerados sugieren revisar los tipos de raleo y sus intensidades ya que un mayor precio del árbol y del bosque implica mayor homogeneidad, pero a costo de la pérdida de diversidad. La dinámica natural de estos bosques secundarios se proyecta a constituir los subtipos de intolerantes o tolerantes emergentes, ricos en diversidad. (Figura 3-8).

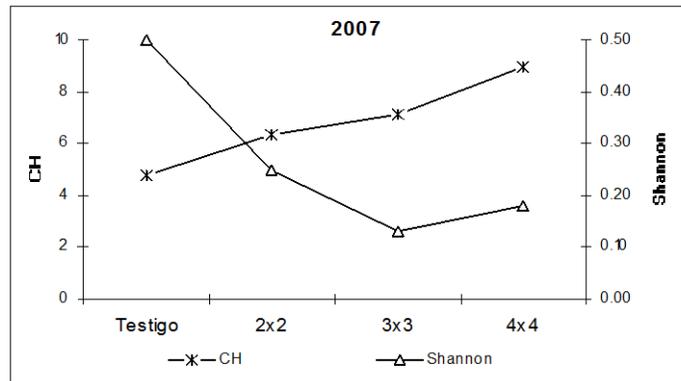


Figura 3-8. Diversidad y homogeneidad por tratamiento en el año 2007 sin considerar regeneración

3.7 Discusión

Los bosques de segundo crecimiento y las plantaciones deberán satisfacer el 70% de la demanda creciente mundial de madera para los usos tradicionales para el año 2030 (FAO, 2009). En este contexto la ordenación forestal como herramienta para generar la condición de rendimiento sostenido, requiere información confiable sobre rendimiento de productos y respuestas de los bosques sometidos a diferentes esquemas de manejo en un marco de manejo forestal sustentable.

Los tratamientos de raleo ensayados contribuyen con información confiable para comprender la respuesta de bosques templados secundarios de *D. winteri* a distintas intensidades de raleo, considerados tardíos bajo el criterio de oportunidad biológica, representado por la edad en la que se produce el máximo crecimiento anual periódico, que corresponde para el sitio del estudio 12 años (Navarro *et al.* 1993). El ensayo representa a 52.000 hectáreas de la superficie de estos bosques, lo cual permite resaltar la importancia del estudio, el que sirve de base para futuras investigaciones.

Estos renovales son prácticamente monoespecíficos y los tratamientos privilegiaron como especie meta a *D. winteri*, ello bajo el supuesto de que las condiciones post-raleo facilitarían el establecimiento de un segundo dosel de especies tolerantes acompañantes de *D. winteri*. Esto permitiría mayor complementariedad en el uso de los recursos y por ello una mayor productividad como lo plantea Kelty (1992), ya que las especies acompañantes de *D. winteri* tienen características de tolerancia, fenológicas y morfológicas distintas. Sin embargo, en condiciones post-raleo para este sitio *D. winteri* prácticamente no regenera, lo que produce el desafío de establecerlo artificialmente o ensayar manejo del sustrato para ello; si se observa un importante número de individuos de buena calidad de especies de interés maderable como *L. philippiana* y *A. luma*, y en menor medida *S. conspicua*, *W. trichosperma* y *E. cordifolia*. Esto coincide con lo determinado por Donoso *et al.* (2006) quienes determinaron para renovales fustales gruesos y altos dominados por *D. winteri* en la Isla de Chiloé, que solo las mirtáceas y *L. philippiana* están

regenerando de manera abundante, sugiriendo que los bosques adultos futuros estarán dominados por pocos individuos emergentes de *N. dombeyi*, *E. cordifolia* y dominantes de *D. winteri* (esta especie no alcanza las alturas de las dos primeras), y abundantes *L. philippiana* y mirtáceas en los restantes estratos arbóreos, lo cual es consistente con la composición de los bosques adultos descritos de Chiloé (Donoso *et al.* 1984)

Los tratamientos de raleo aplicados se definieron sobre la base de un criterio combinado de calidad y distanciamiento para tres de ellos (2, 3, 4 m), y un cuarto tratamiento correspondiente al raleo de liberación, se efectuó seleccionando árboles de buena calidad del dosel superior, a los que se les eliminó la competencia, resultando muy similar en densidad residual al raleo de 4 m. Estas intervenciones tienen características de un raleo mixto, ya que se extrajeron individuos de todas los doseles, pero principalmente del inferior e intermedio; ello producto de la homogeneidad en términos de altura para las distintas clases diamétricas. Al respecto pueden definirse como raleos fuertes los tratamientos de 3, 4 metros y de liberación; y moderado el raleo a 2 m o raleo por lo bajo grado D los primeros y C éste último (Nyland, 2002; Pretzsch, 2009).

La estructura diamétrica que resultó luego de efectuado el raleo, en todos los tratamientos correspondió a una curva normal “aplanada”, la intervención se adelanta al proceso natural y aprovecha o extrae los árboles que potencialmente serían excluidos por competencia. En estos bosques se determinó una mortalidad para el período de 21 años de 2.700 árboles, equivalente a 128 árb/ha/año, lo que es similar a lo obtenido por Navarro (1997) con una cifra de 164 árb/ha/año., correspondientes fundamentalmente a la clase diamétrica inferior de 5 a 10 cm. presentando la curva de mortalidad una forma exponencial negativa. Estas cifras representan el 50% de los árboles iniciales del período, lo que indica la intensidad de posibles intervenciones bajo criterio biológico; sin embargo la forma y doseles afectados, así como la temporalidad de las intervenciones es discutible; no obstante esto sugiere el criterio de intervención a aplicar. Las intensidades de intervención alcanzan cifras de extracción de 64 a 88 por ciento en número de árboles y de 39 a

79 por ciento en área basal, para los tratamientos de menor y mayor severidad. Son intervenciones en general fuertes, que en raleos tardíos son recomendables para lograr los efectos esperados, principalmente reducir la competencia de manera que los árboles residuales se desarrollen rápidamente durante el período entre raleos, como lo indica INFOR (2008) para bosques de segundo crecimiento de *Nothofagus*; sin embargo, para las altas densidades, las características del anclaje de los árboles y los fuertes vientos de la zona donde se ubican los bosques de *D. winteri* restringen aplicar esta recomendación.

La mortalidad como lo indica Reyes *et al.* (2009) solo fue relevante durante los primeros cinco años post-intervención, lo cual está asociado a los cambios estructurales producidos en el renoval por la ejecución del raleo. Sin embargo, se observó una alta mortalidad natural en las parcelas testigos, mientras que en las intervenidas prácticamente no evidenciaron pérdida de árboles por esta causa; sí ocurrió por efectos del viento, siendo mayor la pérdida en los raleos más intensos.

En los bosques de *D. winteri* el anclaje de los árboles es débil debido a varias razones: a) crecimiento sobre troncos caídos, en algunos casos formando raíces tipo zancos; b) enraizamiento limitado por la presencia de estratos arcillosos y c) alto grado de interconexión entre los sistemas radicales de los árboles. (Navarro *et al.* 1997; Reyes *et al.* 2009). Es por esto que se recomienda tener en consideración la variable “anclaje” como elemento de selección de árboles en un raleo, lo que los inventarios tradicionalmente no incluyen (Navarro, 1997). Al respecto, Cameron (2002) señala que antes de proceder a una intervención, el silvicultor debe visitar el rodal para evaluar su idoneidad, ya que la principal limitante de cualquier raleo es la falta de una adecuada estabilidad de la raíz, factor que podría aumentar el riesgo de daños luego del raleo.

En este sentido, Peri *et al.* (2002) y Cameron (2002) recomiendan raleos sucesivos por lo bajo para mantener la estabilidad del rodal, a través de reducciones sucesivas de la densidad de copas, lo que estimula el crecimiento paulatino de los árboles remanentes seleccionados, pero sin una excesiva apertura del dosel, esto conceptualmente lo representa el tratamiento 2-3 m en este ensayo. Al respecto,

Navarro *et al.* (1999) y Reyes *et al.* (2009) plantean que el tipo de raleo pudo aumentar la caída de árboles, ya que al realizar un raleo por lo bajo de alta severidad y dejar individuos del estrato superior y eliminar los estratos inferiores, produce como lo indica (Stathers *et al.* 1994) que aumente la vulnerabilidad de los árboles con respecto al viento debido a la alta relación altura/diámetro y la ausencia de un sostén lateral dado por los árboles vecinos. Al crecer durante 30 años en el interior de una masa densa y compacta de vegetación, prácticamente no produjeron madera de tracción, lo cual disminuyó su flexibilidad (Pérez, 1983; Reyes *et al.* 2009). El crecimiento a altas densidades también generó una poda natural fuerte, de modo que las copas de los individuos residuales se concentraban sólo en el dosel superior. Además la forma elipsoidal de los fustes los hizo más vulnerables, principalmente en el sentido de su diámetro más angosto (Pérez, 1983; Reyes *et al.* 2009).

En los tratamientos de raleo se produjo un aumento del diámetro medio cuadrático (DMC) después de la intervención, indicador de un raleo por lo bajo, que dada su severidad, es clasificable como de tipo C y D según Nyland (2002). Se observa un mayor DMC en los tratamientos de mayor intensidad, conformando a los 51 años dos grupos, los raleados y los testigos, con valores promedios de 0,40 y 0,20 cm/año respectivamente. Estos mismos tratamientos en la primera evaluación, después de cuatro años desde la intervención, presentan cifras de 0,60 y 0,29 cm/año, lo que indica la pérdida del efecto del raleo con el tiempo. Al respecto, es discutible la relación intensidad de raleo y las respuestas en crecimiento y rendimiento en intervenciones tardías; sin embargo, las buenas respuestas en crecimiento a nivel de árbol muestran el potencial de manejo de esta especie, teniendo presente la restricción de la estabilidad del rodal.

Los tratamientos de mayor intensidad (4, 3 y RL) significaron mayores tasas de crecimiento diametral, permitiendo que los árboles meta expresen su potencial de crecimiento, con cifras cuatro veces superiores al testigo transcurridos 4 años después de la intervención. Los tratamientos de raleo a 2 m y testigo presentan un estado mínimo de crecimiento para el mismo tipo de árbol, lo que indica que este

tratamiento es muy suave para el potencial de la especie; lo que se explica por una excesiva densidad y competencia que no les deja desarrollar una copa amplia y alcanzar una mayor superficie fotosintetizadora, la que determina una menor velocidad de crecimiento diametral (Vera, 1985; Nyland, 2002; Pretzsch, 2009). Sin embargo, después de 21 años los tratamientos de menor intensidad presentan un mayor porcentaje de árboles en las menores clases de crecimiento, muy similar a los árboles testigos de las mismas características; solo el R4m presenta crecimientos superiores. Esto se explica por el área de copas de los árboles meta, que alcanzan en el tratamiento de mayor intensidad (4 m) un área 2,6 veces respecto del testigo; mientras que el tratamiento a 2 m y testigo presentan áreas de copas similares, con valores de 5,5 y 4,6 m²/árbol; mientras que el raleo a 3 m es de 1,3 veces el área de copa del testigo.

Los resultados no justifican una intervención tan severa como el R4m para alcanzar el máximo potencial de crecimiento diametral de la especie para el período analizado, éste se logra con el R3m en el período de 21 años evaluado. Lo cual se refleja con el IDR de 0,43 que alcanza este tratamiento después de 21 años, que indica que se ubica en una zona de inminente mortalidad por competencia, pero durante el período el rodal se ubicó entre la línea de cierre de copas y la línea inferior de ocupación de sitio, con cifras de 0,22 a 0,43 % de IDR, como lo señala Drew and Flewelling (1979) y Navarro *et al.* (2010). Mientras que el R4m se ubicó en una zona de crecimiento libre post-raleo, con un 13% de IDR el año 90 y de 0,32 el año 2007, lo que lo explica el tamaño de la copa alcanzado; ya que como lo plantea Pretzsch (2009), después de 2 a 3 años de realizado el raleo las copas alcanzan crecimientos máximos, período en el cual el R4m se ubicó en la zona de crecimiento libre, menor a 15% de IDR.

La respuesta a las intervenciones genera tanto para el área basal como volumen, grupos que corresponden a tres grados de intervención: sin extracción o control, severo (3, 4 y Liberación) y moderado (raleo a 2 m) y complejas interacciones. A medida que transcurre el tiempo los grupos de tratamiento de raleo ocupan el espacio liberado y se acercan a la capacidad de carga del sitio representado por el

control, los que constituyen el 2007 dos grupos, sin intervención e intervenidos. La proyección en el tiempo y bajo el principio del rendimiento final constante los tratamientos de raleo y control formarán con este criterio, un solo grupo. Sin embargo, la oferta de productos variará, al igual que el valor del árbol de área basal media, valor del bosque y la producción económica del sitio para cada tratamiento.

El volumen y el área basal, presentan cifras mayores en los tratamientos de espaciamiento intermedio (2-3m). En los primeros períodos hubo una gran productividad, la que disminuyó en el último período de medición, lo cual concentró gran parte de sus energías en el crecimiento diametral, ocupando rápidamente los recursos disponibles e incrementando la competencia (Navarro *et al.* 1999).

La calidad del rodal se ve afectada positivamente por las intervenciones, lo que permite proyectar un mayor porcentaje de productos de mayor valor en menor tiempo respecto de las parcelas testigos. Este aumento de productos de mayor precio con raleos, genera un aumento en la rentabilidad del bosque, lo que permite que el propietario obtenga además ingresos antes de la cosecha final. Sin embargo, los diámetros mínimos de productos de mayor precio están recién siendo logrados en los tratamientos de mayor intensidad, lo que indica que el esfuerzo silvícola se comienza a rentabilizar a los 50 años, no siendo oportuno realizar la corta final a esta edad.

La relación intensidad de raleo presenta una relación directa con el aumento del precio a nivel del árbol y con la homogeneidad del rodal e inversa con la diversidad. Esto sugiere incorporar a nivel de sitios estas variables en la evaluación de manejo de estos bosques, lo que contribuiría a normalizar las tecnologías silvícolas para objetivos determinados. Una mayor intensidad del raleo significó un incremento de precio a nivel de bosques, hasta una intensidad intermedia correspondiente al R3m., en el R4m esta cifra disminuye. Esto permite recomendar el tratamiento que reduce el riesgo de caída de árboles por viento, que corresponde al R2-3 m. Esto implica dejar en promedio 2.500 árb/ha en el primer raleo y luego de 10 años realizar una segunda intervención dejando 1.100 árb/ha, siendo recomendable mantener niveles de IDR en el primer raleo no inferiores a 40% y a partir del

segundo raleo 30%. Esto concuerda con lo planteado por Peri *et al.* (2008) y Cameron (2002) quienes recomiendan raleos sucesivos para mantener la estabilidad del rodal.

Al respecto, Reyes *et al.* (2009), plantean que los mejores resultados se observan en aquellos tratamientos que llevaron la densidad relativa del rodal a un rango entre 25 y 45% (raleo entre 2 y 3 metros), con un área basal residual entre 20 y 36 m²/ha; sin embargo, sugiere aplicar intensidades variables según la exposición al viento y destaca como no aconsejable aplicar intensidades de raleo fuerte.

3.8 Conclusiones.

1. Las respuestas positivas en crecimiento a nivel de árbol en raleos tardíos, indica la potencialidad de manejar estos bosques en los mejores sitios para la producción de trozas para la industria del aserrío y chapas, alcanzando los diámetros requeridos en menor tiempo, produciendo de esta forma un aumento significativo en el valor del árbol de área basal promedio y valor del bosque después de 21 años de aplicadas las intervenciones.
2. Se determinó una relación directa entre intensidad de raleo y crecimiento a nivel de árbol, mientras que no se observó relación entre intensidad de raleo y composición de especies. Los raleos de mayor intensidad presentaron mayor mortalidad por efectos del viento, producto del mal anclaje de los árboles y débil flexibilidad de los individuos al crecer a altas densidades por 30 años. Se observó que aún existe efecto del raleo en el tratamiento de mayor intensidad después de 21 años en crecimiento diametral, mientras que el segundo raleo del tratamiento moderado experimentó una débil reacción.
3. La aplicación de raleos tardíos de intensidad variable produce cambios estructurales en estos bosques, reduciendo la diversidad y aumentando la homogeneidad del rodal de manera significativa respecto de los bosques sin intervención.
4. El tratamiento de raleo factible de implementar en condiciones similares al estudio, basado en un menor riesgo de caída de árboles por viento, las buenas respuestas en crecimiento, el aumento del valor del árbol y del bosque, es el tratamiento de raleo moderado. Esto significa aplicar un raleo por lo bajo moderado dejando a los 30 años una densidad de 2.500 árb/ha o niveles de densidad relativa de 37% y un segundo raleo después de al menos 10 años o cuando alcance una densidad relativa de 45% dejando 1.000 árb/ha o densidades relativas de 35%.
5. Los resultados indican que no resulta recomendable aplicar raleos tardíos de intensidad fuerte en estos bosques, aún cuando se observa a mayor intensidad un

aumento del valor de árbol, pero se produce una disminución del valor a nivel de bosque, dado por la menor densidad residual y la pérdida de árboles por viento.

3.9 Bibliografía

- Balharry, C. (1984).** Estudio de la estructura y composición de renovales de Canelo (*Drimys winteri* Forst.) en el fundo Llenca (Décima región). Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.
- Calquin, R. (1986).** Indices y clases de sitio para Canelo (*Drimys winteri* Forst.) en la Décima región. Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.
- Cameron, A. (2002).** Importance of early selective thinning in the development of long-term stand stability and improved log quality: a review. *Forestry*. 75 (1) 25-35.
- Daniel, T., Helms, J., Baker, F. (1982).** Principios de silvicultura. Mc Graw-Hill co. Inc., México.
- De Camino, R. (1976).** Determinación de la Homogeneidad de Rodales. *Revista Bosque* (2): 110-115.
- Donoso, C. (1981).** Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Documento de trabajo N°38. Investigación y Desarrollo Forestal (CONAF, PNUD-FAO), Santiago.
- Donoso, P., Soto, D., Bertin, R. (2006).** Size-density relation-ships in *Drimys winteri* secondary forests of the Chiloe Island, Chile: Effects of physiography and species composition. *Forest Ecology and Management*. In press.
- Donoso, C., Escobar, B., Cortés, M. (1984).** Regeneración en bosques de la Cordillera de la Costa, Décima Región, IV parte. Evaluación de producción de semillas y hojarasca en bosques no intervenidos de los tipos forestales siempreverde y Alerce y en rodales intervenidos del tipo forestal

siempreverde y evaluación de la regeneración en parcelas intervenidas de Alerce. Informe de convenio N° 72, CONAF/UACH.

CONAF-CONAMA-BIRF. (1999). Informe Nacional con variables ambientales "Catastro y avaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile" 89 pag.

Cox, F., Peters, R. (1975). Inventario Forestal de la Cordillera de la Costa de Valdivia. 114 p.

Crechi, E., Fernandez, R., Friedl, R., Fahler, J. (2005). Efectos del Raleo en Pinus Taeda. Revista IDIA XXI. 8 41-45.

Drew T., Flewelling J. (1979). Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir plantations". Forest Science (25):518-532.

FAO. (2009). Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia. 176 p.

Gunkel, G. (1980). Estudio de desarrollo y rendimiento de renovales de canelo en el sector de Corral, Cordillera de la Costa, Provincia de Valdivia. Tesis. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia. 94 p.

Grosse H., Cubillos, V., Bourke, M. (1987). Investigación para el manejo silvícola de diferentes tipos de bosques nativos. INFOR-CORFO, Chile. 63 p.

INFOR (Instituto Forestal). (2004). Estudio de mercado para madera de Canelo en Estados Unidos y Europa. Informe técnico N° 167. INFOR/ CORFO. Santiago, Chile.

Juodvalkis, A., Kairiukstis, L. and Vasiliauskas, R. (2005) Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania, European Journal of Forest, 124: 187-192.

Kannimen, M., Pérez, D., Montero, M., Viquez, E. (2004). Intensity and timing of the first thinning of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica: results of a thinning trial. Forest Ecology and Management. 203 89-99.

- Kelty, M. (1992).** Comparative productivity of monocultures and mixed-species stand. In Kelty M, B Larson, C Oliver eds. *The Ecology and Silviculture of Mixed-Species Stands*. Dordrecht, The Netherlands. Kluwer Academic Publishers. p. 125-141.
- Krebs, C. (1985).** *Ecología de Comunidades*. Harper and Row Publishers. New York,
- Lara, A., Donoso, C., Donoso, P., Nuñez, P., Cavieres, A. (1999).** Normas de Manejo para raleo de renovales del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue. En: C, Donoso y A. Lara (Eds) *Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile*. Ed. Universitaria, Santiago. Chile.
- Lei, X., Lu, Y., Peng, Ch., Zhang, X., Chang, J., Hong, L. (2007).** Growth and structure development of semi-natural larch-spruce-fir (*Larix olgensis*-*Picea jezoensis*-*Abies nephrolepis*) forests in northeast China: 12-year results alter thinning. *Ecology and Management*, 240 165-177
- Mäkinen, H., Isomäki, A. (2004).** Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland. *Forestry*. 77 349-364.
- Martinez, A. (1999).** Silvicultura práctica en renovales puros y mixtos y bosques remanentes originales del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigue. En: C, Donoso y A. Lara (Eds) *Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile*. Ed. Universitaria, Santiago. Chile.
- Martinez, G., Cellini, J., Lencinas, M., Vukasovic, R., Vicente, R., Bertolami, F., Giunchi, J. (2001).** Modificación del crecimiento y de la calidad de fustes en un raleo fuerte de un rodal en fase de crecimiento óptimo inicial de *Nothofagus pumilio*. *Ecología Austral*. 11 95-104.
- Martinez, G., Cellini, J., Lencinas, M., Vukasovic, R., Peri, P., Donoso, S. (2002).** Response of *Nothofagus betuloides* (Mirb.) oersted to different thinning intensities in Tierra del Fuego, Argentina. *Interciencia*, 27: 679 – 685.

- Morales, E., Gayoso, J., Ellies, A., Gayoso, R., Iroumé, A. (1988).** Reconocimiento, evaluación y reclasificación de los suelos de la Cordillera de la Costa de Valdivia. Informe. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 22p.
- Navarro, C., Donoso, C., Sandoval, V. y González, C. (1997).** Evaluación de raleos en renovales de Canelo (*Drimys winteri* Forst.) en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile. *Bosque* 18(2): 51-67).
- Navarro, C. (1993).** Estudio de raleo renovales de Canelo, sector Hueicolla, Cordillera de la Costa de Valdivia. Instalación y evaluación del ensayo. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.
- Navarro, C., Donoso, C., Sandoval, V. (1999).** Los Renovales de Canelo. In: Donoso, C; A. Lara (eds.).Capítulo 11 En Libro: Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Santiago, Universitaria. pp 129-144.
- Navarro, C., Herrera, M, Drake, F. (2010).** Evaluación de la rentabilidad del manejo en bosques secundarios de canelo (*Drimys winteri*) en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile. (En prensa)
- Nuñez, P. y R Peñaloza. (1986).** Evaluación del estado Actual y proposición de manejo de los renovales de Raulí y Roble intervenidos en los predios Jauja y Santa Luisa. FORVESA. Informe Final. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, 100 p.
- Nyland, R. (2002).** Silviculture. Concepts and Applications. New York, USA. McGraw-Hill Companies. 633 p.
- Paredes, R. (1982).** Proyección de raleos en renovales de Raulí (*Nothofagus alpina*, Poepp et Endl), según diversos criterios de intervención. Tesis. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia. 52 p.
- Pérez, V. (1983).** Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas". CONAF/PNUD/FAO/CHI/76/003. Documento de trabajo N° 47

Peri, P., Martinez, G., Vukasovic, R., Díaz, P., Lencinas, M., Cellini, J. 2002.

Thinning schedules to reduce risk of windthrow in *Nothofagus pumilio* forests of Patagonia, Argentina. *Bosque, Valdivia.* 23 (2) 19-28.

Pincheira, M. 1993. Evaluación de raleos aplicados en un renoval de raulí (*Nothofagus alpina*) y Roble (*Nothofagus obliqua*) ubicados en el Fundo Jauja, provincia de Malleco, IX Región. Tesis de Grado Universidad Austral de Chile . Valdivia. 100 p.

Piotto, D., Montagnini, F., Ugalde, L., Kanninem, M. (2003). Growth and effects of thinning of mixed and pure plantations with native trees in humid tropical Costa Rica. *Forest Ecology and Management.* 177 (427-439).

Pretzsch, H. (2009). Forest Dynamics, Growth and Yields: From Measurements to Model. Berlin, Germany. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 695 p.

Puente, M., Peñaloza, R., Donoso, C., Paredes, R., Muñoz, P., Morales, R., Enngdahl. (1980). Estudio de raleo y otras técnicas para el manejo de renovales de rauli y roble. Informe de Convenio N° 30. Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile.

Reyes, R., Donoso, P., Donoso, C., Navarro, C. (2009). Crecimiento de renovales de *Drimys winteri* después de 16 años de aplicados distintos tratamientos de raleo en las cordilleras de Los Andes y de la Costa en Chile. *Bosque* 30(3): 117-126.

Roberts, S., Harrington, C. (2008). Individual tree growth response to variable-density thinning in coastal Pacific Northwest forests. *Forest Ecology and Management,* 255 2771-2781.

Rocuant, L. (1974). Raleos en renovales de Roble y Raulí. 15 años de observaciones. Actas Primer Seminario sobre Renovales. Pucón-Chile. Imprenta Alianza. Santiago, 19-23 p.

Stathers, R. J., Rollerson ,T. P., Mitchell, S. (1994). Windthrow Handbook for British Columbia Forests. Research Program Working Paper 9401. Ministry of Forests Research Program. 31 p.

Tapia, E. (1988). Determinación de modelos de ahusamiento para renovales de Canelo (*Drimys winteri* Forst). Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, 68 p.

Vera, O. (1985). Evaluación de intervenciones silvícolas en un renoval mixto de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl) Krasser) y Coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb). Oerst) ubicado en la Reserva forestal Coyhaique, XI Región, Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.

Wadsworth, R. (1976). Aspectos ecológicos y crecimiento del Raulí (*Nothofagus alpina*) y sus asociaciones en bosques de segundo crecimiento de las provincias de Bio- Bio, Malleco y Cautín. Chile. Boletín Técnico N° 37. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 47 p.

3.10 Anexos.

Anexo 3-1. Variación del número de árboles (N/ha) y mortalidad en los diferentes tratamientos de raleo, para *D. winteri* y el total de especies.

Tratamiento	Densidad (N/ha) Todas las especies						Tasa anual de mortalidad (%)				
	1985	1986	1990	1996	2001	2007	86-90	90-96	96-01	01-07	Promedio
4 m	5367 a	611 c	572 b	534 b	506 b	506 b	1.64	1.14	1.09	0	0.97
3 m	5678 a	1094 c	916 b	867 b	828 b	828 b	4.36	0.91	0.92	-	1.55
2 m	7006 a	2494b	2500 ab	2228 ab	-	-	-0.05	1.9	-	-	-
2m-3m	-	-	-	1139 b	928 b	928 b	-	-	4.02	0	1.47
Testigo	6174 a	6174 a	5955 a	4583 a	3455 a	3483 a	0.9	4.27	5.49	-0.13	2.63
Liberación	6426 a	825 c	816 b	767 b	708 b	708 b	0.27	1.03	1.58	-	0.72

Tratamiento	Densidad (N/ha) <i>D. winteri</i>						Tasa anual de mortalidad (%)				
	1985	1986	1990	1996	2001	2007	86-90	90-96	96-01	01-07	Promedio
4 m	4144a	611 c	555 b	506 b	483 b	483 b	2.37	1.54	0.89	0.00	1.20
3 m	4795a	1094 c	883 b	839 b	811 b	811 b	5.22	0.85	0.67	0.00	1.68
2 m	6217a	2494 b	2322 a	2050 ab	-	-	1.77	2.06	-	0.00	1.91
2m-3m	-	-	-	1048 b	872 b	872 b	0.00	0.00	3.61	0.00	1.86
Testigo	5562a	5562 a	5183 a	4038 a	3144 a	3000 a	1.75	4.08	4.88	0.78	2.87
Liberación	4761a	825 c	816 b	767 b	708 b	708 b	0.27	1.03	1.58	0.00	0.72

Anexo 3-2. Variación del DMC (cm) por tratamiento y años de medición, para canelo y el total de especies.

Tratamiento	DMC (cm) Todas las especies						Crecimiento anual periódico (cm /año)				
	1985	1986	1990	1996	2001	2007	86-90	90-96	96-01	01-07	Promedio
4 m	10.7	15.3 a	18.0 a	20.9 a	23.9 a	26.5 a	0.67	0.48	0.59	0.44	0.55
3 m	11.4	15.3 a	18.0 a	20.9 a	23.4 a	24.2 a	0.67	0.48	0.51	0.13	0.45
2 m	10.6	13.6 b	14.6 b	16.2 ab	-	-	0.26	0.26			0.17
2m-3m	-	-	-	19.0 a	21.4 a	22.3 a	-	-	0.48	0.15	0.29
Testigo	11.7	11.7 c	12.8 c	13.0 b	14.4 b	15.0 b	0.40	0.04	0.29	0.09	0.20
Liberación	11.3	16.4 a	18.9 a	21.7 a	22.2 a	22.3 a	0.63	0.47	0.10	0.02	0.30

Tratamiento	DMC (cm) <i>D. winteri</i>						Crecimiento anual periódico (cm /año)				
	1985	1986	1990	1996	2001	2007	86-90	90-96	96-01	01-07	Promedio
4 m	10.4	15.3 a	18.6 a	21.2 a	24.1 a	26.0 a	0.80	0.44	0.58	0.42	0.56
3 m	11.6	15.5 a	18.2 a	21.0 a	23.5 a	24.9 a	0.68	0.47	0.49	0.23	0.47
2 m	11.8	13.2 b	14.5 c	16.2 ab	-	-	0.32	0.29	-	0.00	0.20
2m-3m	-	-	-	19.5 a	21.1 a	22.2 a	0.00	0.00	0.31	0.19	0.28
Testigo	11.3	11.3 c	11.7 b	14.0 b	14.5 b	16.0 b	0.25	0.38	0.11	0.24	0.25
Liberación	10.5	16.4 a	18.9 a	21.7 a	22.2 a	22.3 a	0.63	0.47	0.10	0.02	0.30

Anexo 3-3. Variación del área basal (m²/ha) y volumen (m³/ha) por tratamiento y años de medición, para *D. winteri* y el total de especies. * incluye las extracciones y no la mortalidad por viento y competencia.

Tratamiento	Área basal (m ² /ha) todas las especies						Neto 86-07	Anual Neto	Anual Bruto *
	1985	1986	1990	1996	2001	2007			
4 m	47.8	10.9 c	14.6 b	18.4 c	22.7 b	27.9 b	17,0	0,80	2,55
3 m	56.6	20.4 b	23.8 b	30.5 bc	36.2 b	39.5 b	19,1	0,91	2,63
2 m	62.4	36.2 a	41.4 ab	46.6 ab	-	-	10,4	1,04	3,66
2m-3m	-	-	-	32.2 bc	34.6 b	36.2 b	3,70	0,34	1,64
Testigo	57.7	57.7 a	63.5 a	64.8 a	65,0 a	78.3 a	20,6	0,98	0,98
Liberación	64.1	17.2 c	22.7 b	28.0 bc	28.7 b	34.4 b	17,2	0,82	3,05

Tratamiento	Volumen (m ³ /ha) todas las especies						86-07	Anual Neto	Anual Bruto
	1985	1986	1990	1996	2001	2007			
4 m	309.1	65.8 c	90.7 b	118.3 c	151.1 c	179.8 b	114,0	5,4	16,90
3 m	361,0	125.2 b	148.6 ab	194.5 bc	238.5 b	251.3 b	126,1	6,0	17,20
2 m	395.8	216.7 b	254.6 ab	285.5 ab	-	-	-	-	-
2m-3m	-	-	-	189.3	228.6 b	240.1 b	50,7	4,62	13,10
Testigo	354.7	354.7 a	404.8 a	408.2 a	409,0 a	439.4 a	84,7	4,03	04,03
Liberación	405.0	107.3 b	141.0 ab	180.6 bc	190.0 b	208.8 b	101,5	4,83	19,00

Anexo 3-4.

Tratamiento	Volumen aserrable (1) todas				Volumen aserrable (1) canelo			
	1990	1996	2001	2007	1990	1996	2001	2007
4 m	15.1	34.3	59.8	85.7	13	34.3	59.4	84.5
3 m	28.1	50.2	88.3	118,6	27.7	49.9	87.5	97,6
2 m	35.8	45	-	-	19.9	35.5	-	-
2m-3m	-	-	-	83.2	-	-	60.9	82,3
Testigo	55.9	53.3	61.7	89.3	22.9	44.7	56.3	70.5
Liberación	28.1	53.2	71.5	86.2	28.1	53.2	71.5	86.2
Tratamiento	Volumen pulpable y leña (2) todas				Volumen pulpable (2) y leña canelo			
	1990	1996	2001	2007	1990	1996	2001	2007
4 m	75.6	84	91.3	94.1	75.3	81.2	87.8	89.1
3 m	120.5	144.3	150.2	153.7	115.1	141.6	148.2	124.9
2 m	218.8	240.5	-	-	209.1	229.9	-	-
2m-3m	-	-	155.2	157.8	-	-	144.8	145.7
Testigo	348.9	354.9	337.7	350.1	318	318.1	312.8	334.5
Liberación	112.9	127.4	118.5	122.6	112.9	127.4	118.5	122.6



Figura 3-9. Letrero antiguo ensayo instalado en 1985 de manejo de renovales de *D.winteri*.



Figura 3-10. Parcela testigo Cordillera de La Costa de Valdivia.



Figura 3-11. Vista bosques parcela testigo, Cordillera de la Costa de Valdivia.

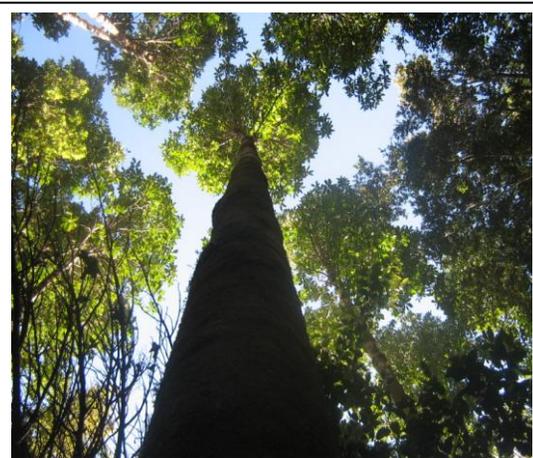


Figura 3-12. Vista de las copas y fuste parcelas manejadas, Cordillera de la Costa de Valdivia.



Figura 3-12. Bosques manejados de *D. winteri*- parcelas intervenidas.



Figura 3-13 Bosques manejados de *D. winteri* .



Figura 3-14. Arboles desraizados por efecto del viento.



Figura 3-15 Bosques manejados de *D. winteri* .

**ESTUDIO DE RENTABILIDAD DE ENSAYOS DE RALEO EN
RENOVALES DE *Drimys winteri* J. R. FORST. & G. FORST. EN LA
CORDILLERA DE LA COSTA VALDIVIA, CHILE.**

CAPÍTULO 4

4 CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE RENTABILIDAD DE ENSAYOS DE RALEO EN RENOVALES DE *Drimys winteri* (CANELO) EN LA CORDILLERA DE LA COSTA VALDIVIA, CHILE.

4.1 Resumen.

Los bosques secundarios de *D. winteri* presentan excelentes crecimientos y regeneran fácilmente en forma natural, alcanzando una superficie de 252.000 hectáreas en Chile. A pesar de ello, no existe una oferta de madera que permita aprovechar las oportunidades de los mercados nacionales e internacionales. El objetivo de este estudio fue evaluar la rentabilidad de ensayos de raleo en bosques secundarios de *D. winteri* en un sitio de productividad media. Los tratamientos corresponden a raleos aplicados tardíamente, denominados como raleo moderado (E1), fuerte (E2) y severo (E3) y un tratamiento control (E4). La rentabilidad se determinó a través del Valor Actual Neto (VAN), Valor Económico del Suelo (VES), Tasa Interna de Retorno Modificada (TIR_m), incorporando tasas de descuento de 6%, 8% y 10%; y costos de administración bajo dos escenarios; sin costo antes de las intervenciones (S1) y con costo desde el establecimiento del rodal (S2). Los resultados para el VAN y VPS en S2 fueron negativos, a diferencia del S1 que duplicó al menos su rentabilidad respecto de no intervenir los bosques secundarios. El tratamiento E2 presentó la mayor rentabilidad para el supuesto S1 con un VAN de USD 2.724 ha⁻¹, un VPS de USD 3.771 para una tasa de 6% y una TIR_m de 19%. Es recomendable para un nivel operacional el tratamiento de raleo moderado, ya que reduce el riesgo de caída por viento, genera el mayor rendimiento en volumen y presenta cifras de rentabilidad levemente inferiores a E2.

4.2 Introducción.

En Chile existen 4.447.661 hectáreas de bosques secundarios con gran potencial de intervención a corto plazo, bajo criterios de manejo sustentable (CONAF–CONAMA, 1997). Las productividades varían desde los 8 a los 20 m³ha⁻¹/año y no han requerido para su desarrollo de inversión alguna, sino solo del espacio físico y el tiempo transcurrido entre su establecimiento y la actualidad (Emanuelli y Milla, 2006).

De estas formaciones los bosques secundarios de *D. winteri* constituyen una de las formaciones vegetacionales de segundo crecimiento más abundantes de la Región de Los Lagos y de Los Ríos de Chile (40° a los 44° de latitud sur), alcanzando una superficie de 230.000 ha (CONAF-CONAMA, 1997). Estos bosques se forman luego de eventos catastróficos como incendios y talas, que generan condiciones en el terreno bajo las cuales las especies que se establecen con posterioridad no tienen competencia de árboles cercanos (Donoso, 1999), particularmente en sitios bajos, pobremente drenados y húmedos.

Las tasas de crecimiento en bosques secundarios de *D. winteri* dependen de la clase de sitio en el cual se encuentren, alcanzando crecimientos entre 10 a 16 m³ ha⁻¹/año en los mejores sitios (*estaciones*) (Donoso *et al.* 2004). Son en estos sitios donde se recomienda realizar tratamientos silviculturales para potenciar su productividad, obtener productos de alta calidad y mejorar la rentabilidad de estos bosques (Navarro *et al.* 1997).

En el estado actual de los renovales de *D. winteri*, intervenciones silvícolas tipo raleo adquieren mayor importancia, debido a la estructura que presentan, que se caracteriza por sus altas densidades, formar bosque puros, alta mortalidad por competencia, estructuras diamétricas exponenciales negativas y buenas respuestas a intervenciones silvícolas (Navarro *et al.* 1997, Reyes *et al.* 2009). Adicionalmente a estas ventajas, estudios de mercado recientes desarrollados por el Instituto Forestal le atribuyen a la madera *D. winteri* buenas perspectivas, particularmente

para su uso en escaleras y terrazas en Estados Unidos. (INFOR, 2005). Basado en lo anterior, realizar un buen manejo de estos bosques secundarios podría ser rentable, especialmente si se determinan las mejores opciones silviculturales y adecuadas condiciones en los mercados nacionales e internacionales.

A pesar de las ventajas que presentan estos bosques secundarios no se conoce la rentabilidad de opciones silviculturales para la producción de trozas de calidad. Para que el manejo de estos bosques sea sustentable, éste debe retornar un valor económico al inversor, que se deriva de una mezcla compleja de costos, ingresos, problemas de calidad y consumos en el tiempo. Estos factores son principalmente determinados a través de influencias fuera del bosque, y es el resultado de las tendencias en la política nacional e internacional y los eventos económicos que forman el ambiente comercial global (Acuña y Drake, 2003).

Se plantea como hipótesis que las intervenciones de intensidad moderada aumentan el rendimiento en volumen total y la rentabilidad, maximizando de esta forma la producción económica del sitio. Los objetivos de este estudio son evaluar la rentabilidad del manejo silvicultural en bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* en Chile, orientado a la producción de trozos para aserrío y debobinado, y analizar la tecnología silvicultural factible de aplicar mediante un modelo de programación dinámica que maximiza la tecnología silvicultural en términos de rentabilidad y producción física.

Para este estudio se utilizaron datos de un ensayo de raleo establecido el año 1985, que fueron medidos durante 21 años para evaluar la respuesta de la especie a distintos tipos de intervenciones. Se aplicaron cuatro tratamientos de raleo por lo bajo: el primero corresponde a dos raleos, el primero a los 30 años de tipo moderado dejando 2.500 árboles por hectárea y un segundo raleo a los 40 años dejando una densidad residual de 900 árboles por ha; el segundo tratamiento corresponde a un raleo fuerte a los 30 años dejando 900 árboles por ha; el tercer tratamiento corresponde a un raleo severo dejando 600 árboles por hectárea y para efectos comparativos del efecto de los tratamiento se estableció un tratamiento control.

Sobre esta base se evalúan las intervenciones mediante el valor actual neto (VAN), valor potencial del suelo (VPS), tasa interna de retorno (TIR) y la producción física del sitio. Finalmente se analiza la tecnología silvícola factible de aplicar mediante un modelo de programación dinámica que maximiza la tecnología silvícola en términos de rentabilidad y producción física, incorporando al modelo el método de corta final para este tipo de bosque.

4.3 Materiales y método.

4.3.1 Área de estudio

El área de ensayo se localiza en la Cordillera de la Costa de Valdivia en Chile, en el lugar denominado Hueicolla, ubicado geográficamente en el paralelo 40° 07' de latitud sur y 73° 23' de longitud oeste. Predomina el tipo forestal siempreverde según la tipología forestal determinada por Donoso (1981), con presencia importante en los sectores de menor pendiente del subtipo renovales de *D. winteri*.

El clima en esta área corresponde al tipo Oceánico Templado-Húmedo, (Di Castri y Hajek, 1976), caracterizándose por altas precipitaciones y temperaturas moderadas debido a la influencia oceánica. La precipitación media anual cerca del nivel del mar, donde se ubican los renovales estudiados, alcanza alrededor de 3.500 mm, pudiendo llegar hasta 6.730 mm en la parte alta de la Cordillera de la Costa (Oyarzún *et al.* 1998).

Los suelos corresponden a la serie Hueicolla, la cual se encuentra al sur del Río Valdivia, entre los 100 y 1000 m.s.n.m. Son suelos con grandes variaciones de espesor, predominando los moderadamente profundos, de origen metamórfico, de texturas que varían entre moderadamente finas en superficie a finas en profundidad. El arraigamiento es bueno hasta los 46 cm. siendo en general, suelos muy ácidos. La materia orgánica es abundante en la superficie pero disminuye bruscamente en

profundidad. Además se destaca por su bajo contenido de fósforo, y alto contenido de aluminio (Morales *et al.* 1988).

La topografía existente en el área es abrupta con pendientes que varían entre 0 y 80%, predominando las pendientes superiores a 30%. El ensayo se encuentra en la parte baja de la ladera occidental de la Cordillera de la Costa a una altitud media de 113 m.s.n.m, en un rango de 41 a 158 m.s.n.m, pendiente de 15 al 40% y exposiciones sur, suroeste y oeste.

4.3.2 Antecedentes del ensayo y mediciones.

Los bosque secundarios de *D. winteri* estudiados corresponden a bosques puros, donde en condiciones sin manejo el *D. winteri* aporta el 81,2% del número de árboles, 81,4% del área basal y 84,1% del volumen total. Las especies acompañantes no fueron analizadas individualmente, siendo las más frecuentes *Luma apiculata* (D.C) Burret, *A. luma*, *E. coccineum*, *E.*, *Laurelia philippiana* y *Ovidia pillo pillo* (C.Gray) Hohen. ex CFWMeissn.

Los parámetros dasométricos promedios son de 6.134 árboles por hectárea, 56,65 m² ha⁻¹ en área basal y 360 m³ ha⁻¹ en volumen. La edad promedio del renoval al momento de establecerse el ensayo era de 30 años el año 1985, (Navarro *et al.* 1999).

4.3.3 Tecnologías silvícolas

Parte importante de los renovales de *D. winteri* en Chile se encuentran en estados de desarrollo biológicamente tardíos para realizar un primer raleo, ya que el máximo crecimiento anual periódico se alcanza entre los 8 a 14 años en los sitios de productividad media (Navarro, 1993), siendo importante discutir las tecnologías silviculturales factibles de aplicar en estos bosques con edades promedios de 30 años.

El estudio se basó en un ensayo de intensidad de raleo instalado en 1985 que es el de mayor data documentado en Chile para esta especie, correspondiente a un sitio de productividad media, con crecimientos entre 6 y 10 m³/ha/año y alturas dominantes de 16 m a los 35 años de edad. Los tratamientos aplicados según Nyland (2002) corresponden a raleos por lo bajo tipo C y D, denominados para este estudio como raleo moderado (E1), fuerte (E2) y Severo (E3), más un tratamiento testigo sin raleo (E4). Estos corresponden respectivamente a espaciamientos promedios entre árboles de dos, tres y cuatro metros. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento, con un total de 12 parcelas de 600 m². El año 1996, luego de 10 años del primer raleo, el tratamiento moderado fue nuevamente intervenido, dejando una densidad equivalente al raleo fuerte (E2), es decir, a un espaciamiento promedio de 3 m entre árboles.

En todos los tratamientos se privilegiaron los individuos pertenecientes al estrato dominante y de excelente calidad de la especie *D. winteri*. Al respecto, Navarro *et al.* (1999) proponen para estos sitios que poseen productividades con crecimientos medios anuales de 0,45 cm en diámetro y 10,1 m³ en volumen, realizar las primeras intervenciones cuando el rodal alcanza el máximo crecimiento anual periódico de 0,92 cm/año, que se produce entre los 10 a 12 años de edad. Por lo tanto este estudio evalúa diferentes intensidades de raleo tardíos en renovales de *D. winteri* y analiza la tecnología silvícola factible de implementar, incorporando el tipo de corta final o de regeneración posible de aplicar legalmente. En el caso del Tipo Forestal siempreverde, al que pertenecen estos renovales, existen legalmente en Chile dos métodos de corta: cortas de protección y cortas de selección (Donoso, 1981).

Se consideró para este estudio como método de corta final el de protección en fajas alternas recomendado por Donoso (1999) como alternativa de corta de regeneración para los bosques del Tipo Forestal Siempreverde, luego de un par de décadas de evaluación de ensayos experimentales. No obstante, el método de corta final para efectos de comparar los tratamientos de raleo que se discuten en este documento no tiene efecto, ya que se toma como una constante para la tecnología

silvícola; aunque sí afecta la magnitud del resultado en términos financieros y físicos.

La dinámica natural de estos bosques secundarios dará origen a bosques adultos mixtos siempreverdes donde *D. winteri* participa como una especie secundaria en términos comerciales (Donoso, 1981), ello debido a su baja participación en el número de árboles. Al respecto, Navarro *et al.* (1997) señalan que proyectar bosques donde predomine *D. winteri* en sitios de productividad media, implica mantener ciclos de corta a edades no mayores a 80 años a causa de la pérdida de calidad de la especie.

4.3.4 Mediciones y procesamiento de datos.

Las mediciones se realizaron los años 1985, 1986, 1990, 1996, 2001 y 2007, registrando las variables especie, DAP (cm), altura total (m), altura comienzo de copa (m), sanidad y forma, a todos los árboles mayores a 5 cm de DAP. Para la estimación de altura total se utilizó la función (4-1) utilizada por Navarro *et al.* (1997).

$$HT = 9,252717 + 0,2523175 \times DAP \quad (4-1)$$

Donde: HT = altura total del árbol (m); DAP = diámetro a la altura del pecho (cm).

Para efecto de obtener los productos que fueron definidos en base al mercado en Chile, se utilizó la función de ahusamiento polinomial (4-2):

$$\frac{D_i}{DAP} = 1,94627 * \left[\frac{(HT - H_i)}{(HT - 1,3)} \right] - 1,86688 * \left[\frac{(HT - H_i)}{(HT - 1,3)} \right]^2 + 0,904505 * \left[\frac{(HT - H_i)}{(HT - 1,3)} \right]^3 \quad (4-2)$$

donde: D_i = es el diámetro con corteza a la altura H_i (cm); DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); HT = altura total del árbol (m). Fuente: Tapia (1988).

Los productos en trozos se clasificaron de acuerdo a las dimensiones y calidades que demanda la industria en Chile, definiéndose como producto debobinable (P1), trozas con diámetro mínimo de 35 cm. y largo mínimo 2,5 m.; como producto aserrable (P2), trozas con diámetro mínimo de 20 cm. y largo 2,5 m. y el producto metro ruma o leña se definió como el volumen total del árbol descontándole los productos P1 y P2. Además, se consideró asignables a producto debobinable árboles con nota de sanidad 1 y forma 1, suma máxima dos entre ambos aspectos y árboles con suma igual a 3 se asignó a producto aserrable. Aquellos individuos con nota de calidad superior a tres de la suma de sanidad y forma se asignaron para uso en la industria de la energía como leña en forma íntegra.

4.3.5 -Análisis de rentabilidad.

El análisis de rentabilidad se realizó mediante los indicadores: Valor Actual Neto (VAN), Valor Potencial del Suelo (VPS) y la tasa Interna de Retorno Modificada (TIRm). Se consideró el periodo desde los 30 a los 52 años del renoval.

4.3.5.1 Valor actual neto (VAN).

El criterio del VAN consiste en obtener la diferencia de los beneficios y los valores actualizados de los costos (4-3). Dado que los primeros se anotan con signo positivo y los segundos con negativo, la decisión es buena si $VAN > 0$ y mala si $VAN < 0$. Brealey y Myers (2001) señala que el criterio del VAN es aceptado por los economistas, y es el método más apropiado para calcular el beneficio de cualquier proyecto.

El indicador Valor Actual Neto (VAN) se expresa como:

$$VAN = \sum_{j=0}^r \frac{B_j - C_j}{(1+i)^j} \quad (4-3)$$

donde, B_j es el beneficio en un año j expresado en US\$; C_j es el costo en un año j expresado en US\$; r es la edad de rotación expresada en años, e i es la tasa de descuento expresada en valor decimal.

4.3.5.2 Valor económico del suelo (VES).

La dinámica de los bosques naturales genera incertidumbre en su estructura después de la corta final, por lo tanto, para este estudio la aplicación del VES se realizó para efectos de comparar los resultados con otros estudios que utilizan este indicador.

El VES calcula la rentabilidad del proyecto para infinitas rotaciones del bosque. Este es un indicador que tiene gran utilidad para determinar el monto máximo de dinero que se está dispuesto a pagar por un terreno destinado a infinitas rotaciones.

La definición de VES corresponde al mismo concepto de valor económico de cualquier bien de capital, que en términos prácticos es el valor actual de todos los beneficios futuros netos generados por el suelo (Chacón, 1995), corresponde a la siguiente expresión (4-4):

$$VES = \frac{\sum_{j=0}^r (B_j - C_j)(1+i)^{r-j}}{(1+i)^r - 1} \quad (4-4)$$

donde, B_j es el beneficio en un año j expresado en US\$; C_j es el costo en un año j expresado en US\$; r es la edad de rotación expresada en años, e i es la tasa de descuento expresada en valor decimal.

4.3.5.3 Tasa interna de retorno modificada (TIRm)

La determinación de una tasa interna de retorno única solo es posible cuando a un saldo, o serie de saldos negativos, sigue una serie ininterrumpida de saldos positivos. Cuando los flujos financieros evaluados son de carácter heterogéneo, como es el caso de los proyectos forestales, este indicador genera soluciones múltiples, que limitan su uso en la toma de decisiones. Para efectos de dar solución a esta restricción, Kierulff (2008), señala que la tasa interna de retorno modificada (TIR_m) es el indicador más adecuado para evaluar flujos de estas características. Conceptualmente, la TIR_m convierte el flujo financiero heterogéneo original en uno de carácter homogéneo, actualizando todos los costos a una tasa de financiamiento, y capitaliza todos los ingresos a una tasa de reinversión (Biondi, 2006). La tasa de financiamiento utilizada fue la correspondiente al costo aplicado por las entidades financieras para los proyectos de inversión forestal en Chile, que en este caso es del 6% anual.

En relación al cálculo de la tasa de reinversión, Laborde (2004) señala que existen numerosos modelos para su determinación. Los tres más utilizados son: el método tasa interna de retorno del bono corporativo más premio por riesgo, el modelo de descuento de dividendos, y el modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model* o Modelo de Valoración de Activos Financieros). Este último fue utilizado en el estudio, y se calculó como lo detalla la siguiente ecuación (4-5):

$$i = r_f + \beta [E(R_m) - r_f] \quad (4-5)$$

donde, i es la tasa de descuento en valor decimal; r_f es la tasa libre de riesgo; β se refiere al riesgo sistemático del sector forestal; $E(R_m)$ se refiere a la esperanza de retorno del mercado. La tasa resultante para la industria forestal en Chile fue del 10%.

La tasa obtenida a partir del cálculo de la TIRm corresponde a la tasa que hace al VAN igual a cero (Brealey *et al.* 2006; Hartman y Schafrick, 2004). Si ésta se compara con las tasas de descuento utilizadas para sensibilizar el VAN, el criterio de decisión es: si la tasa es igual o mayor que ésta, el proyecto debe aceptarse y si es menor, conviene rechazarse (Sapag, 2003).

Para el análisis de rentabilidad se aplicaron tasas de descuento de 6%, 8% y 10%; una edad de corta final de 52 años y costos de administración de US\$ 40 ha/año bajo dos escenarios, a) sin costo de administración antes de las intervenciones, que corresponde a un caso en que el propietario administra el rodal desde el momento que aplica el raleo y b) con costo de administración desde el establecimiento del rodal. Los precios y costos de los productos de la industria en Chile para esta especie se muestran en la tabla 4-1. Estos costos consideran rodales que presentan accesibilidad y que se ubican a una distancia de transporte no mayor a 200 km para los productos P1 y P2 y de 100 km para P3.

Tabla 4-1. Precios y costos de producción en trozos puesto planta para mercados de tableros y astillas.

Producto	Precio puesto planta en trozos.(US\$/m³)	Costo puesto planta en trozos.(US\$/m³)
Debobinable (P1)	70	38
Aserrable (P2)	58	36
Energía (P3)	30	20

Fuente: Consulta a empresas en Chile (2008)

4.3.6 Modelo de optimización silvícola.

Se determinó el método silvicultural óptimo para maximizar la rentabilidad y la producción física de estos bosques, mediante un modelo de programación dinámica no probabilístico (4-5), que se expresó de la siguiente manera (Paredes y Brodie, 1987):

$$\int_N (Y_n) = \sum_{n=1}^N r_n (T_n) \quad \text{(Función objetivo)} \quad (4-5)$$

s.a.

$$X_n - T_n + G_{n-1} (Y_n) = X_{n-1} \quad (n = 1, \dots, N - 1) \quad (4-6)$$

$$X_n - T_n = Y_n \quad (n = 1, \dots, N) \quad (4-7)$$

$$X_N - T_N = 0 \quad \text{(condición de corta de protección en fajas)} \quad (4-8)$$

donde: $\int_N (Y_n)$ = es el valor de la función objetivo de una secuencia de decisiones de manejo en un rodal descrito por Y_N ; $r_n (T_n)$ es el retorno generado en la etapa n cuando una decisión T_n ha sido tomada; Y_n es el vector que describe el rodal en la etapa n después que una decisión T_n ha sido tomada en un rodal descrito por X_n en esa etapa; X_n es el vector que describe el estado del rodal en la etapa n después de que éste creció desde su estado Y_{n-1} ; T_n es el vector de posibles decisiones de manejo al estado n y que transforman el rodal X_n en Y_n generando un retorno $r_n (X_n, T_n)$ y $G_{n+1} (Y_n)$ es el crecimiento del rodal Y_n al estado n al que sigue un estado $n+1$.

El problema de programación dinámica planteado incorpora los elementos básicos, indicados por Hillier y Lieberman (1982), el cual se dividió en etapas (n) que corresponden a estados de desarrollo de los renovales, con una decisión de la política requerida en cada una de ellos. Es decir que en cada etapa tendremos una variable (o vector) de decisión (T_n). Y cada etapa tiene un cierto número de estados o niveles de raleo (Y_n) asociados a ella, que son las diversas condiciones posibles en las que el sistema podría estar en esa etapa del problema. El efecto de una decisión en cada etapa, es transformar el estado actual en un estado (X_n) asociado

con la etapa siguiente, lo cual indica que los problemas de programación dinámica pueden interpretarse en términos de redes, donde cada nodo corresponde a un estado y el valor asignado a cada rama que conecta dos nodos puede interpretarse como la contribución a la función objetivo hecha al ir de un estado a otro, en este caso volumen extraído dado el estado actual. Una política óptima para las etapas restantes es independiente de la política adoptada en las etapas previas, o sea, que el estado actual del sistema proporciona toda la información necesaria, acerca de su estado previo, para determinar la política óptima para cada estado en la última etapa.

4.4 Resultados.

4.4.1 Antecedentes dasométricos y tecnología silvícola.

En la tabla 4-2 se presentan los resultados de las variables dasométricas promedios por tratamiento y año de medición. Los renovales estudiados antes del manejo, presentan en promedio una edad de 30 años, un área basal de 57.52 m² ha⁻¹, una densidad de 6.007 árboles ha⁻¹, un DMC de 11,14 cm. y una densidad relativa (Curtis, 1971) de 67 por ciento. Los niveles de extracción en número de árboles para los tratamientos alcanzan cifras de 64 a 88 % y en términos de volumen las cifras varían de 158 a 190 m³/ha. Las densidades residuales fueron en promedio de 2.495, 1.095 y 616 árb/ha, y en términos de densidad relativa de 37, 21 y 12 por ciento para los tratamientos de raleo moderado (E1), fuerte (E2) y severo (E3) respectivamente. El tratamiento de raleo moderado se intervino nuevamente el año 96, diez años después de la primera intervención, cuando alcanzó el rodal un IDR de 49%, extrayendo 60 m³/ha y reduciendo el IDR a 35%, siendo equivalente su densidad residual al tratamiento de raleo fuerte.

Después de 21 años de aplicadas las intervenciones de raleo, se pudo observar que el tratamiento testigo es el que posee mayor volumen y área basal al momento de la cosecha, a diferencia de los tratamientos de raleo, donde el tratamiento severo (4m) posee el 60% menos; pero se obtuvieron productos de mayor calidad que en el caso del testigo, el cual generó más del 50% del volumen para uso en energía para calefacción (tabla 4-2). En los tratamientos moderado (E2) y fuerte (E3) el volumen bruto total fué superior que el testigo, ya que se aprovecha un volumen que se pierde por mortalidad natural a causa de la fuerte competencia que se produce en estos bosques y al aumento de dimensión de los árboles residuales.

El diámetro medio cuadrático aumenta significativamente en los tratamientos de raleo desde el momento de la intervención, alcanzando un máximo de 26,5 cm, correspondiente al raleo severo (4m), en cambio el tratamiento testigo alcanzó una cifra de 12,0 cm. al año 2007, 120 por ciento inferior que éste. (Tabla 4-2).

El renoval a la edad de 52 años (tabla 4-2), generó productos debobinables en todos los tratamientos, a excepción del testigo, lo que se explica, a que este último presenta menores dimensiones de los árboles, representado por el DMC y a la inferior sanidad y forma. Los tratamientos de mayor intensidad de raleo presentaron un mayor volumen de este producto. (Tabla 4-2).

Las cifras correspondientes a la tabla 4-2, permiten señalar que después de 21 años de ejecutado el raleo tardío en renovales de *D. winteri*, con distintas intensidades, es factible obtener a los 52 años productos debobinables, lo que indica que recién se inicia el aumento de la producción económica del sitio a causa del esfuerzo silvícola. La tasa de crecimiento en DMC en los tratamientos de raleo aumentó en promedio un 80% en el período evaluado, determinándose cifras de 13 a 22,3 cm en el raleo moderado, de 15 a 24 cm en el raleo fuerte, de 15 a 26,5 cm en el raleo severo; mientras que en el tratamiento sin manejo la cifra aumentó de 11 a 17 cm.

De mantenerse cifras similares de crecimiento en los tratamientos de raleo, es factible especular que en 20 años más o a una edad de 70 a 80 años, el renoval alcanzaría un alto porcentaje de productos de mayor valor o trozas debobinables, materializándose en términos de rentabilidad el esfuerzo silvícola, que a diferencia del testigo a esas edades y por las tasas de crecimiento alcanzadas no aportará cifras de trozas de mayor valor que lo que rinde el tratamiento de raleo moderado después de 21 años de aplicadas las intervenciones.

Tabla 4-2. Antecedentes dasométricos medios por año de medición.

Raleo moderado (2 a 3m)										
Edad rodal	N/ha	IDR	G/ha	VT /ha	V As/ha	V Deb/ha	V Pulp/ha	DMC	V Ext. Raleo	V Total 2007 (Extr raleo + Cosecha)
30	7.006	61	62,4	395,8	-	-	-	10,6	158	
31	2.494	37	36,2	216,7	4,0	-	212,0	13,6		458,1
35		44							60	
52	928	40	45,1	240,1	75,0	10	155,1	22,3		
Raleo fuerte (3m)										
	N/ha		G/ha	VT /ha	V As/ha	V Deb/ha	V Pulp/ha	DMC	V Ext. Raleo	V Total 2007 (Extr raleo + Cosecha)
30	5678	58	56.6	361.0	-	-	-	11.4	190	
31	1094	21	20.4	125.2	13.6	-	111.6	15.3		441.3
35		25								
52	828	43	39.5	251.3	95	26	130.3	24.2		
Raleo Severo (4m)										
	N/ha		G/ha	VT /ha	V As/ha	V Deb/ha	V Pulp/ha	DMC	V Ext. Raleo	V Total 2007 (Extr raleo + Cosecha)
30	5367	50	47.8	309.1	-	-	-	10.7	186	
31	611	12	10.9	65.8	8.4	-	57.4	15.3		365.8
35										
52	506	32	27.9	179.8	68	20	91.8	26.5		
Testigo (sin manejo)										
	N/ha		G/ha	VT /ha	V As/ha	V Deb/ha	V Pulp/ha	DMC	V Ext. Raleo	V Total 2007 (Extr raleo + Cosecha)
30	6174	67	57.7	354.7	-	-	-	11.7		
31	6174	67	57.7	354.7	12.1	-	342.6	11.7		439.4
35		78								
52	3483	64	78.3	439.4	118	-	321.4	17.0		

donde, N/ha es el número de árboles por ha, G/ha es el área basal por ha (m²/ha), VT/ha es el volumen por hectárea (m³/ha), V As/ha es el volumen aserrable por hectárea (m³/ha), V.deb/ha es el volumen debobinable por ha ((m³/ha) y DMC es el diámetro medio cuadrático (cm), V. ext. Raleo es el volumen extraído en los raleos, V Total 2007 es el volumen extraído en los raleos más el volumen total del año 2007.

Los niveles de densidad relativa alcanzados después de 21 años, con cifras mayores o iguales a 40%, indican que es necesario realizar más intervenciones de raleo para alcanzar una plena ocupación del sitio y evitar que el rodal ocupe una zona de mortalidad por competencia, como ocurre en los raleos moderado y fuerte. Por su parte el raleo severo alcanzó un IDR de 32% que indica que no es necesaria una nueva intervención, no obstante se debe velar por la estabilidad del rodal en los raleos como lo plantea Stathers *et al.* (1994). Al respecto diversos autores recomiendan mantener los rodales en un nivel mínimo de 30% y máximo de 45% para regímenes de raleo para la producción de trozas para la industria de chapas y del aserrío. (Drew y Flewelling, 1979; Newton, 1997; Saunders y Puettmann, 2000; Shaw y Long, 2007, Gezan *et al.* 2007).

4.4.2 Análisis de rentabilidad.

En el escenario (S1), la de un propietario que administra el renoval desde el momento que es realizado el tratamiento silvícola, es decir, no se asignan costos de administración en los primeros 30 años, los indicadores de rentabilidad indican que todos los tratamientos son rentables en todas las tasas de descuento analizadas. A la edad de corta de 52 años el tratamiento con un mayor VAN a una tasa de 6% es el raleo a 3 m con US\$ 2724 ha⁻¹, un VPS de US\$ 3771 ha⁻¹ y una TIRm de 19% (tabla 4-3).

Al comparar las cifras de rentabilidad entre tratamientos de raleo las diferencias son menores, lo que implica seleccionar o recomendar el tratamiento de raleo moderado, que reduce el riesgo de caída por viento y disminuye el costo de inversión inicial, que genera un VAN de 2546, un VPS de 3524 y una TIRm de 20% para una tasa de descuento de 6%.

Al comparar el testigo con los tratamientos de raleo a la tasa de un 6%, el VAN es al menos el doble con intervenciones; y a una tasa de 12% esta cifra sube al menos 6

veces respecto del tratamiento de menor intensidad. La tasa interna de retorno modificada para la condición sin raleo alcanza cifras de 13 a 12% (tabla 4-3).

Tabla 4-3. Indicadores de rentabilidad por tratamiento y tasa de descuento.

Supuesto 1		Testigo	Raleo Severo	Raleo Fuerte	Raleo moderado
VAN (US\$ha⁻¹)	6%	1.122	1.966	2.724	2.546
	8%	641	1.751	2.344	2.177
	10%	337	1.819	2.105	1.929
VPS (US\$ha⁻¹)	6%	1.553	2.721	3.771	3.524
	8%	786	2.146	2.873	2.667
	10%	384	2.074	2.400	1.929
TIRm %	6%	12%	18%	19%	20%
	8%	13%	19%	19%	20%
	10%	13%	20%	20%	21%
Supuesto 2		Testigo	Raleo Severo	Raleo Fuerte	Raleo moderado
VAN (US\$ha⁻¹)	6%	-2.001	-996	-398	-671
	8%	-3.850	-2.557	-2.147	-2.399
	10%	-6.203	-4.721	-4.435	-4.682
VPS (US\$ha⁻¹)	6%	-2.002	-1.379	-551	-929
	8%	-3.851	-3.133	-2.631	-2.939
	10%	-6.204	-5.382	-5.056	-5.338
TIRm %	6%	4%	7%	7%	6,62%
	8%	5%	7%	7%	7,11%
	10%	5%	8%	8%	7,51%

En el segundo escenario (S2), en el cual el propietario asigna costos de administración desde el momento en que se establece el renoval, los indicadores de rentabilidad muestran que al realizar la corta final a los 52 años no existe ningún tratamiento que obtenga un VAN y VPS positivo para las tasas de descuento analizadas. Los resultados de la TIRm varían de un 4 al 8%, para los tratamientos testigos y raleo severo respectivamente; cifras bastante inferiores al testigo del supuesto 1 (S1), que presenta una TIRm de 12 a 14%. Los mejores tratamientos en este escenario correspondieron e al raleo severo y fuerte con un 8% de TIRm (tabla 4-3).

El modelo de programación dinámica determinó que el camino que optimiza el volumen total es no intervenir entre los 30 a 35 años y realizar un raleo moderado (2 m) a los 35 años para aprovechar el volumen que se pierde por la alta mortalidad por competencia, generando un rendimiento en volumen a la edad de corta final de 52 años de 506 m³/ha, un crecimiento medio anual de 9,7 m³ha⁻¹/año y un VAN de US\$ 1318 ha⁻¹ para una tasa de 6% para el escenario 1.

La maximización del VAN se produjo con la senda óptima de un raleo fuerte (E2) a la edad de 30 años, tipo raleo por lo bajo grado 3 (Nyland, 2002), dejando una densidad de 1.100 árb/ha y realizando a la edad de 52 años la corta de protección en fajas, obteniendo un volumen de 443 m³ha⁻¹, un crecimiento medio anual de 8,5 m³ha⁻¹/año y un VNP de US\$ 2.724 ha⁻¹n para una tasa de descuento del 6% para el escenario 1 analizado.

Al comparar las sendas de optimización de VAN y máximo volumen, se determinó que el raleo es necesario en ambas situaciones, maximizar el VAN y el volumen total. Sin embargo, la senda de máximo VAN es aquella que lleva menos volumen de crecimiento a la corta final, pero que no ubica el rodal en una zona de crecimiento libre o bajo un IDR de 15% después del primer raleo, ya que esto produce una subutilización del sitio, como lo plantean diversos autores (Drew y Flewelling, 1979; Newton, 1997; Saunders y Puettmann, 2000).

4.5 Discusión.

El manejo de los bosques cuyo objetivo es la producción de madera de calidad requiere intervenciones tempranas oportunas, que para el caso estudiado es cercana a los 12 años (Navarro *et al.* 1997). Además para ello es recomendable realizar raleos moderados periódicamente, lo que garantiza la estabilidad del rodal, más aún dadas las altas densidades y problemas de anclaje de estos bosques (Reyes *et al.* 2009). Sin embargo, éstos se encuentran en una etapa no oportuna para una primera intervención, lo que sugiere evaluar alternativas silviculturales factibles de implementar, aun cuando no sea ésta la opción ideal deseable.

Estos bosques son prácticamente monoespecíficos y los tratamientos privilegiaron como especie meta canelo, ello bajo el supuesto de que las condiciones postraleo facilitarían el establecimiento de un segundo dosel de tolerantes acompañantes a *D. winteri*. Esto permitiría mayor complementariedad en el uso de los recursos y por ello una mayor productividad como lo plantea Kelty (1992), ya que las especies acompañantes de *D. winteri* tienen características de tolerancia, fenológicas y morfológicas distintas. Sin embargo, en condiciones postraleo para este sitio canelo prácticamente no regenera, lo que produce el desafío de establecerlo artificialmente o, en la corta final, ensayar manejo de sustrato, si se observa un importante número de individuos de buena calidad de especies de interés maderable como *Laureliopsis philippiana*, *Amomyrtus .luma*, y en menor medida *Saxegothaea conspicua*, *Weinmannia trichosperma* y *Eucryphia cordifolia* (Navarro *et al.* 1999). Esto sugiere realizar estudios sobre el efecto de las intervenciones en la composición de especies o qué tipo de intervenciones realizar para priorizar canelo y otras especies de interés comercial.

El bosque secundario de *D. winteri* experimenta una muy buena respuesta al raleo en términos de crecimiento en todos los tratamientos realizados, a pesar que el renoval tenía 30 años al momento de la intervención. Los tratamientos de raleo aumentan el tamaño medio del rodal en términos de diámetro, lo que se evidencia en la mayor oferta de productos debobinables a la edad de corta de 52 años, que para el caso del tratamiento no se logra. Esta situación ilustra que bosques de éste tipo ubicados en zonas de mayor productividad, como es el caso de estudio, deben ser intervenidos mediante técnicas silvícolas para la producción de madera de alta calidad, de esta forma se produce un aumento de la rentabilidad de estos bosques y su aprovechamiento integral. Al respecto, las evidencias de este estudio indican que un primer raleo moderado (2 m) a la edad de 30 años y luego de 10 años un segundo raleo, dejando densidades de 2.500 y 800 árboles por hectárea o densidades relativas de 35% respectivamente, permiten generar una rentabilidad similar a los tratamientos de mayor intensidad. Esto es recomendable ya que raleos sucesivos de menor intensidad reducen el riesgo de caída por viento y le da mayor estabilidad al rodal y no producen. Al respecto, el reciente estudio de Reyes *et al.* (2009) aporta mayores antecedentes de respuestas de raleos en bosques secundarios de *D. winteri*, no incorporando en su evaluación la oferta potencial de productos maderables.

La baja proporción de productos debobinables, después de 21 años de ejecutado el raleo, indica el inicio del aumento de la producción económica del sitio a causa del esfuerzo silvícultural, lo que sugiere esperar para realizar la corta final. Al respecto, Navarro *et al.* (1999) indican que a nivel predial en faenas forestales y raleos experimentales se ha encontrado una aceptable calidad interna para diámetros de hasta 60 cm en sitios de productividad media, lo que sugiere para los bosques estudiados edades de rotación de al menos 80 años, dados los crecimientos diametrales obtenidos por Reyes *et al.* (2009).

La rentabilidad del manejo de estos bosques fue positiva en el escenario en que el propietario no asume costos de administración antes de la intervención en todos los tratamientos analizados, que Souter (2000) lo explica por no existir costos de formación, ya que estos ya están formados al momento en que se intervienen. En el escenario (2) sin embargo, los costos de administración incorporados generan rentabilidades negativas para los supuestos planteados.

EL tratamiento que presenta mejores respuestas al raleo en términos económicos es el tratamiento a 3 m con un VAN de US\$ 3.016 ha⁻¹ a una tasa de 6% a la edad de corta de 52 años. Sin embargo, es recomendable operacionalmente reducir gradualmente la densidad para alcanzar el número de árboles meta para el período analizado (30 a 52 años), realizando al menos dos raleos (2 a 3m), el primero dejando un promedio de 2.500 árboles/ha a los 30 años y un segundo dejando 1.250 árboles/ha a los 45 años, tecnología que genera un VAN de 1.674 para un tasa del 12% y de 2.583 para una tasa de 6%. Al respecto, Navarro *et al.* (1999) en términos de ocupación de sitio indica que un raleo a 2,5 m (intermedio entre 2,5 y 3 m) correspondería al raleo mínimo, densidad que ocupa completamente la capacidad de carga del sitio, además señala que los fuertes vientos de la zona impiden recomendar operacionalmente tratamientos con mayores intensidades de raleo.

Toral *et al.* (2005) en un estudio desarrollado para pino insigne (*P. radiata*) determinó cifras de VAN de 900 US\$/ha, inferiores a las obtenidas en este estudio, lo cual indica el real potencial de estos bosques. Ello se explica que en el caso del renoval se considera un período de evaluación de 22 años, de los 30 a los 52 años de edad del renoval, y en el año cero no se considera costos de formación del bosque y si ingresos por raleo, lo que produce indicadores de rentabilidad superiores. Sin embargo, un trabajo de mayor rigurosidad debe incorporar estudios de rendimiento de productos en la industria, para validar de esta forma la oferta potencial estimada en este de estudio, además de precisar las condiciones de sitio y de homogeneidad de bosques a los cuales es factible aplicar la tecnología silvícola planteada.

Souter (2000) también realiza comparaciones entre proyectos tradicionales de Pino insignie (*P. radiata*) y renoval de nativo, en estas se demuestran que la rentabilidad es mayor en un renoval con un VAN de 588 USD/ha y 714 USD/ha para pino y renoval respectivamente, los dos en las mismas condiciones de sitio.

Hernández *et al.* (1996) determinó para renovales de *D. winteri* correspondiente a un sitio 2 según Calquín (1986) y orientado a la producción de madera de alto valor, cifras de 1972 US\$/ha para una tasa de descuento de 8% y de 946 US\$/ha para una tasa de 10%, con una TIR aproximada de 15%. La tecnología silvícola propuesta comprende tres raleos, el primero a los seis años, el segundo a los 12, el tercero a los 36 años y una edad de cosecha de 45 años. Estas cifras, a pesar que de ser no experimentales, son similares a las obtenidas en este estudio, a pesar de considerar tecnologías silvícolas distintas y edad de cortas diferentes, lo que demuestra la buena respuesta a intervenciones de este tipo de bosque y la necesidad de aplicar intervenciones tempranas y oportunas, lo que reduciría el tiempo de cosecha en 30 años.

Al comparar las sendas de optimización de VAP y máximo volumen, se observa que el raleo es necesario en ambas situaciones, maximizar el VAN y el volumen total. La senda de máximo valor actual neto corresponde al raleo (E2), el que reduce el índice de densidad relativa a 21%, recuperándose un 43% en el período de 21 años, esto es, se ubica en una zona de plena ocupación de sitio. El raleo severo (E3) después de la intervención deja al rodal en una zona de crecimiento libre, con un índice de densidad relativa de 12%, no logrando en el período ocupar plenamente el sitio ya que sólo alcanza un índice de densidad relativa de 32% a los 52 años. La ausencia de competencia permite que los árboles se desarrollen en crecimiento libre, produciendo mayores tamaños en menor tiempo, y generando de esta forma mayores precios. Sin embargo, la senda de máximo valor actual neto no ubica el rodal en una zona de crecimiento libre o bajo un índice de densidad relativa de 15%, ya que esto produce una subutilización del sitio, como lo plantean diversos autores (Drew y Flewelling 1979, Newton 1997, Saunders y Puettman 2000).

Es importante tener presente el riesgo de caída de árboles por viento al aplicar raleos tardíos de alta intensidad. Al realizar un raleo por lo bajo intenso, como los tratamientos ensayados dejando individuos dominantes y codominantes, y eliminando las especies acompañantes en el estrato inferior, se aumenta la vulnerabilidad de los árboles con respecto al viento, debido al gran tamaño de las copas remanentes, la alta relación altura/diámetro, y la ausencia de un sostén lateral dado por los árboles vecinos (Stathers et al., 1994).

El análisis que se realiza no considera el perfil del propietario, sin embargo la gradualidad de la reducción de las cifras de densidad es variable en el tiempo y depende entre otros factores de los ya indicados, de los objetivos del propietario y su capacidad para movilizar recursos.

4.6 Conclusiones.

1. El estudio evidencia que *D. winteri* es una especie que responde positivamente a raleos tardíos, aumentando su rentabilidad respecto de no intervenirlos. La intensidad de raleo fuerte (E2) presenta mayor rentabilidad, mientras que el tratamiento de intensidad moderada presenta un mayor rendimiento en volumen total y una rentabilidad levemente inferior a los raleos de mayor intensidad.
2. El alto nivel de competencia de estos bosques expresado por su mortalidad natural requiere de intervenciones de raleo, ya sea para la maximización del volumen o del valor actual neto. Bajo este escenario el tratamiento recomendable de llevar a cabo a escala operacional es el raleo moderado, que obtiene rentabilidades levemente inferiores a los tratamientos de mayor intensidad, y que genera una menor mortalidad pro efectos del viento.
3. La evaluación financiera del manejo de renovales debe considerar que éste se forma naturalmente por lo que no existen gastos de administración antes de la primera intervención, no existe inversión inicial para que el bosque se forme y se generen ingresos con el primer raleo, produciéndose en ese caso rentabilidades positivas y un aumento en volumen de los productos de mayor precio. En caso contrario, al considerar los costos de administración desde la formación de bosques, los resultados de rentabilidad son negativos.
4. La tecnología silvicultural tardía, recomendable para la producción de trozas alta calidad en bosques secundarios de *D. winteri* de productividad media, debe considerar, para rentabilizar el esfuerzo silvicultural, rotaciones mayores a 52 años, raleos moderados y mantener densidades relativas no menores a 30 por ciento y máximas de 45%.

4.7 Referencias.

- Acuña, E., Drake, F. (2003).** Análisis del riesgo en la gestión forestal e inversiones silviculturales: una revisión bibliográfica. *Bosque* 24 (1): 113 – 124
- Biondi, Y. (2006).** The double emergence of the Modified Internal Rate of Return: The neglected financial work of Duillard (1755 - 1832) in a comparative perspective. *The European Journal of the History of Economic Thought* 13(3): 311-335.
- Brealey, R., Myers, S. (2001).** Principios de Finanzas Corporativas. Madrid, España. Editorial Mc Graw Hill. 805 p.
- Brealey, R., Myers, S., Allen, F. (2006).** Principles of corporate finance (8th ed.). Boston, USA. McGraw-Hill/Irwin. 442 p.
- Calquín, R. (1986).** Índices y clases de sitio para *D. winteri* (*Drimys winteri* (FORST)) en la X Región. Tesis Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. 125 p.
- Chacón, I. (1995).** Decisiones económico financieras en el manejo forestal. Talca, Chile. Ciencia y Tecnología de la Editorial de la Universidad de Talca. 245 p.
- CONAF, CONAMA, Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Temuco. (1997).** Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales. Santiago, Chile. 88 pp.
- Curtis, R. (1971).** Tree Area Power Function and Related and Density Measures for Douglas-Fir. *Forest Science* 17: 146-159.
- Di Castri, F., Hajek, E R. (1976).** Bioclimatología de Chile. Santiago, Chile. Imprenta-Editorial de la Universidad Católica de Chile. 129 p.

- Donoso, C. (1999).** Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 421 p.
- Donoso, C. (1981).** Tipos forestales de los Bosques Nativos de Chile. Investigación y desarrollo forestal (CONAF/ PNUD/FAO). Santiago, Chile. Publicación FAO, Documento de Trabajo N° 38. 83 p.
- Drew ,J., Flewelling, J. (1979).** Stand density management: a alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Science* 25(3): 518-532.
- Emanuelli, P., Milla, F. (2006).** Alternativas de Productos Madereros del Bosque Nativo Chileno. Primera edición. Proyecto conservación y manejo sustentable del bosque nativo CONAF-KFW-GTZ-DED. 161p.
- Gezan, S., Ortega, A., Andenmatten, E. (2007).** Diagramas de manejo de la densidad para renovales de Roble, Raulí y Coigüe en Chile. *Bosque* 28(2): 97-105.
- Hartman, C, Schafrick, C. (2004).** The relevant internal rate of return. *The Engineering Economist* 49(2), 139 - 158.
- Hernández, M., Donoso, C., Romero, M. (1996).** Variación genecológica de dos poblaciones de *Drimys winteri* (FORST.). *Bosque* 17(2): 65-75
- Hilliers, F., Lieberman, G. (1982).** Investigación de Operaciones. México, D.F .McGraw-Hill. 833 p.
- INFOR. (2005).** Estudio de mercado para madera de *D. winteri* en Estados Unidos y Europa. 92 p. (Informe técnico N° 167)
- Kierulff, H. (2008).** MIRR: A better measure. *Business Horizons* 51: 321—329.
- Laborde, P. (2004).** Métodos prácticos de determinación de tasa de descuento. Diario Financiero. Management. Finanzas para emprendedores. 11: 10-13.

Morales, E., Gayoso, J., Ellies, A., Gayoso, R., Iroumé, A., Mc Donald, R. (1988).

Reconocimiento, evaluación y reclasificación de los suelos del sur de Valdivia costa. Informe Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 22 p.

Navarro, C., Donoso, C., Sandoval, V., González, C. (1997).

Evaluación de raleos en de Canelo (*Drimys winteri* (Forst)) en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile". *Bosque* 18(2): 51-67.

Navarro, C., Donoso, C., Sandoval, V. (1999).

Los renovales de Canelo. En: Donoso C, Lara A. Silvicultura de los bosques nativos de Chile Santiago, Chile. Editorial Universitaria. p 341-377.

Newton, P. (1997).

Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. *Forest ecology and management* 98 : 251- 265.

Nyland, R. (2002).

Silviculture. Concepts and Applications. New York, USA. McGraw-Hill Companies. 633 p.

Paredes, L., Brodie, J D. (1987).

Efficient Specification and Solution of the Even-aged Rotation and Thinning Problem. *Forest Science*: 33: 14-29.

Sapag, N. (2003).

Preparación y Evaluación de Proyectos. 3ª Edición. Editorial McGraw Hill Interamericana, S.A. 404 p.

Saunders, M., Puettmann, K. (2000).

A preliminary White Spruce density management diagram for the lake states. University of Minnesota. *Staff papers series* 145. 15 p.

Shaw, J., Long, J. (2007).

Density management diagram for Longleaf Pine stands with application to Red-Cockaded Woodpecker habitat. *South. J. Appl. For.* 31(1) 2007.

Souter, R. (2000). Bosque Nativo Chileno: Un recurso para el desarrollo. Santiago, Chile. 92 p. (Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo, CONAF-GTZ)

Stathers, R., Rollerson, T., Mitchell, S. (1994). Windthrow Handbook for British Columbia Forests. Research Program Working Paper 9401. Victoria, B.C., Canada. Ministry of Forests Research Program. 31 p

Tapia, E. (1988). Determinación de modelos de ahusamiento para renovales de Canelo (*Drimys winteri* Forst). Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. 68 p.

Toral, M., Fratti, A., González, L. (2005). Crecimiento estacional y rentabilidad de plantaciones forestales comerciales de pino radiata en suelos de trumao según método de establecimiento. *Bosque* 26 (1): 43-54

DESARROLLO DE UN DIAGRAMA DE MANEJO DENSIDAD Y APLICACIONES DE RALEO EN BOSQUES DE SEGUNDO CRECIMIENTO DE *Drimys winteri* J. R. FORST. & G. FORST. (CANELO) EN EL SUR DE CHILE.

5 CAPÍTULO 5. DIAGRAMA DE MANEJO DE DENSIDAD Y SU APLICACIÓN A RALEO EN BOSQUES DE SEGUNDO CRECIMIENTO DE *Drimys winteri* FORST. (CANELO) EN EL SUR DE CHILE.

5.1 Resumen.

Los diagramas de manejo de la densidad (DMD) son modelos gráficos de la dinámica de rodales uniformes a diferentes edades que reflejan la relación entre tamaño, densidad, competencia, ocupación del sitio y autorraleo; y permiten la planificación de raleos mediante la definición de un rodal meta y los límites superior e inferior de ocupación del sitio. Este estudio desarrolló un DMD para renovales de *Drimys winteri* en el sur de Chile, utilizando 300 unidades muestrales con una participación mayor a 70 % de área basal de *D. winteri*, que permitió determinar las líneas de tamaño máximo densidad, las isolíneas de volumen, isolíneas de altura, y evaluar su uso con datos de parcelas permanentes de raleo medidos durante 21 años. Los resultados de las funciones que conforman el DMD presentan aceptables capacidades predictivas, constatando la utilidad y precisión de esta herramienta para planificar intervenciones silviculturales. Los resultados de la aplicación del DMD sugieren mantener niveles de ocupación de sitio entre las zonas de subutilización (índice de densidad relativa (IDR) de 30 %) y la de inminente mortalidad por competencia (IDR de 45 %), realizando al menos tres raleos para alcanzar un rodal meta que genere productos aserrables y debobinables a una edad no menor a los 80 años para el sitio analizado. Con este esquema se reduce el riesgo de caída de árboles por viento y la pérdida de producción física del sitio.

5.2 Introducción.

En Chile, *Drimys winteri* es una especie forestal importante en términos de superficie y potencial comercial de productos maderables y no maderables. Alcanza su mejor expresión en la Región De Los Lagos y De Los Ríos en Chile, formando densos bosques de segundo crecimiento o renovales puros, que cubren una superficie de 260000 hectáreas, correspondientes al 90% del total de este recurso en el país (INFOR, 2004).

En sectores donde los bosques adultos del Tipo Forestal Siempreverde y Alerce han sido alterados fuertemente, ya sea por una acción directa del hombre o alguna perturbación natural; y existiendo una condición de humedad permanente en el suelo, *D. winteri* se establece primero masivamente, cumpliendo una función pionera o colonizadora. Posteriormente su desarrollo determina características ambientales que impiden su propio establecimiento, pero no la de otras especies tolerantes como Tapa (*L. Philippiana*) y Mañíos (*Saxegothaea conspicua*), formando densos bosques de segundo crecimiento, en que la especie es abundante y domina el paisaje, con una cobertura en área basal y densidad superior o igual al 70% del total y predomina en su mayor parte un desarrollo juvenil. La habilidad reproductiva de la especie produce inicialmente un renoval de monte alto, posteriormente con el transcurso del tiempo se producen brotes de las yemas adventicias, originando un renoval típico de *D. winteri*. En el piso del bosque no se encuentra prácticamente regeneración de *D. winteri*, debido a que el renoval en sí corresponde a un estado avanzado de la misma. El rango de edades de mayor frecuencia es de 20 a 40 años, pudiendo incluirse edades de hasta 80 años en la etapa de renoval, dependiendo de las características del sitio. Los rangos de diámetros medios más frecuentes son de 8 y 15 cm; y la densidades fluctúan entre 2.500 y 20.000 árboles por hectárea, con productividades medias que varían entre 8 y 15 m³/ha/año.(Navarro *et al.* 1999).

La demanda por productos maderables de esta especie ha sido baja, lo cual ha evitado su deterioro en términos de superficie y estructura; lo cual sumado a su importancia ecológica, al colonizar áreas con exceso de humedad e iniciar como especie pionera el proceso de colonización, la convierten en una alternativa de desarrollo en nuestro país. Sin embargo, en los últimos años la crisis energética está presionando a este recurso, para ser usado fundamentalmente a nivel residencial para calefacción y cocción de alimentos, lo que debe supeditarse a la aplicación de un manejo productivo sustentable del recurso.

Al respecto, la actividad que adquiere mayor relevancia en estos bosques de *D. winteri* son las cortas intermedias; de éstas, el raleo adquiere mayor importancia debido al estado actual de desarrollo que tienen los renovales, mayoritariamente monte bravo y latizal, que busca favorecer el incremento de los mejores individuos que llegarán a la cosecha final, reduciendo el número de árboles por hectárea existente, redistribuyendo el potencial de crecimiento y mejorando la calidad del bosque residual, de manera de maximizar la rentabilidad económica del sitio.

El manejo de los bosques siempre produce un grado de artificialización, pero que bien realizado conserva muchas de las funciones y sus características naturales. En este marco, las prescripciones silvícolas que emulan el régimen natural de perturbaciones aminorarían efectos en la biodiversidad y los procesos ecológicos (Perry, 1994; Armesto *et al.* 1996; Smith and Woods, 1997). Además conocer las propiedades y efectos de los componentes del ecosistema sobre el todo, como son el crecimiento, competencia y mortalidad en la biomasa, permite adelantarse o comprender la lógica ecosistémica del bosque y así conducir éste a estados en los que se persiga un fin u objetivo, sin alterar sus funciones fundamentales.

Aislar componentes para el adecuado estudio del ecosistema corre el riesgo de no considerar el todo y la conexión de dichos componentes con cada uno de los restantes. Sin embargo la práctica silvícola reconoce el valor del análisis de ciertos elementos estructurales del bosque, lo cuales afectan claramente el desarrollo de los rodales. En este aspecto, el principal componente de la estructura cuantitativa

del bosque que se modifica al intervenir un rodal, mediante raleo u otra corta intermedia, es la densidad. Este parámetro es el segundo factor en importancia, después de la calidad del sitio, para la determinación de la productividad de un sitio forestal (Daniel *et al.* 1986). La *densidad del rodal* es una medida cuantitativa de él, que puede ser expresada en términos absolutos o relativos. En términos absolutos es determinada directamente desde un rodal dado sin referencia a algún otro rodal y se cuantifica normalmente con los parámetros: *número de árboles por unidad de superficie, área basal, volumen de madera* (Smith *et al.* 1997). En tanto, en términos relativos se basa sobre una densidad estándar seleccionada (Avery y Burkhart, 1994).

La implicación silvícola principal del manejo de la densidad es que su manipulación afecta el desarrollo futuro del bosque (Schexnayder *et al.* 2001). En este sentido es importante destacar que la tasa de crecimiento de un rodal forestal de constitución genética dada es consecuencia de su edad, del sitio, de la intensidad de la competencia y de la ocupación del área (Curtis, 1970). Alterar positivamente dicha tasa sin afectar las funciones del bosque, es un desafío permanente en el manejo forestal; más aún cuando el sujeto de estudio es un bosque de segundo crecimiento o renoval, los cuales en Chile representan la base natural boscosa con mayor potencial de crecimiento. Al enfrentarnos al manejo de un renoval con fines productivos, claramente actuamos sobre los niveles de competencia y el grado de ocupación del área. Estos dos factores se vinculan con la cantidad (número de árboles por unidad de superficie) y biomasa (tamaño del rodal) de un bosque; que son medidas directas de la densidad de los rodales.

En ese marco, la importancia del manejo de la densidad radica en que afecta directamente el desarrollo del rodal futuro, debido a que desencadena procesos de competencia intra e interespecífica. El manejo de la densidad es el control de los niveles de crecimiento a través de la manipulación de la densidad del rodal. Conocer valores de densidad que representen estados de desarrollo del bosque, es un paso importante para un manejo orientando a maximizar la productividad física

de los rodales sin disminuir su condición biológica. Drew y Flewelling (1979), iniciaron el estudio de esta interrogante cuando plantearon que el tema central en el manejo de la densidad es encontrar un índice que permita cuantificar los efectos de la densidad en el crecimiento de los bosques.

Estudiar la densidad y su vinculación con el desarrollo del rodal futuro es posible mediante el análisis de las relaciones de tamaño-densidad. Estas relaciones son básicas para determinar los índices de densidad del rodal, los cuales son utilizados para caracterizar estados de desarrollo como los de crecimiento libre, cierre de copas, crecimiento con competencia y mortalidad debido a la competencia (Penner *et al.* 2002). La más conocida de las relaciones de tamaño-densidad es la ley de $-3/2$ de auto-raleo, que describe una relación entre el tamaño y la densidad en rodales coetáneos, monoespecíficos, no intervenidos y en crecimiento activo (Weller, 1987). Yoda *et al.* (1963), quienes desarrollaron la ley, observaron una relación general, luego de mediciones sucesivas de un rodal después de iniciado el auto-raleo. Esta función representa el máximo potencial del rodal, recibiendo el nombre de línea o relación de tamaño máximo densidad o, dada la disminución en densidad, línea de auto-raleo (Drew y Flewelling, 1977; Zunino, 1996). Estas relaciones han sido utilizadas por diversos autores en el desarrollo de modelos matemáticos para describir el desarrollo del rodal con el tiempo (Smith y Hann, 1984, 1986; Lloyd y Harms, 1986; Somers y Farrar, 1991; Cao, 1994).

Desde la derivación de la ley se han efectuado numerosos estudios con el fin de probar sus resultados para diferentes especies y condiciones (Barkham, 1978; Malmberg and Smith, 1982; Pitelka, 1984; Westoby, 1984), expresando que es “uno de los modelos teóricos más robustos y extensamente aplicables para describir la regulación intraespecífica en poblaciones de plantas”. Por su parte, Drew y Flewelling (1979) indican que es “un principio general de la biología de las poblaciones de plantas”; es descrita como “la primera ley básica demostrada para la ecología”, y Westoby (1984) cree que viene a ocupar un lugar en la comprensión de los ecosistemas. Más recientemente Zhang *et al.* (2005) indican que el autorraleo es

un equilibrio dinámico entre el crecimiento vegetal y la mortalidad por aumento de la densidad y es gobernado por la ley del $-3/2$. Por el contrario, existen publicaciones y estudios como el de Weller (1987) quien concluyó que 19 de los 63 grupos de datos de poblaciones individuales previamente citados en apoyo de la Ley no mostraban una correlación significativa entre la biomasa del rodal y la densidad de plantas, y veinte de ellos dan pendientes significativamente diferentes de $-1/2$, por lo que “la regla como una ley cuantitativa debe ser desechada”. Christensen y Peet (1981) reportaron que la relación entre el logaritmo del volumen medio por árbol y el logaritmo del número de árboles no es lineal y de este modo no tiene una pendiente constante.

No obstante la crítica y controversia a las relaciones de tamaño y densidad a nivel de ley, han demostrado ser útiles como herramienta de manejo forestal. Las relaciones de tamaño-densidad integradas con otras funciones que caracterizan la estructura cuantitativa del rodal, conforman los denominados diagramas para el manejo de la densidad. Estos son esencialmente, simples modelos promedio del rodal que caracterizan gráficamente rendimiento, densidad y mortalidad en varios estados de desarrollo de un rodal (Newton y Weetman, 1994; Shaw y Long 2007, Gezan *et al.* 2007; Vacchiano *et al.* 2008; Valbuena *et al.* 2008; Castedo *et al.* 2009). Al respecto Shaw y Long (2007) plantean que los diagramas de manejo de la densidad constituyen una herramienta valiosa para la planeación de regímenes de tratamientos silvícolas que garanticen una óptima ocupación del sitio de acuerdo con los objetivos de producción propuestos para éste.

El desarrollo de estos diagramas ha sido amplio luego de reconocer la simplicidad de sus componentes y la habilidad para desplegar las complejas relaciones dimensionales del desarrollo de un rodal (Kumar *et al.* 1995). A través de ellos es posible identificar los estados de mortalidad debido a la competencia y de tamaño potencial del rodal, orientando las acciones silvícolas para posicionar los rodales en aquellos valores de densidad que permitan que el crecimiento por unidad de superficie sea máximo sin alterar las funciones del bosque.

En este sentido en los DMD es posible identificar líneas que definen el grado de ocupación del sitio, donde se puede ver la potencialidad de esta herramienta para el manejo de rodales. Una primera línea (A), la línea de la máxima relación tamaño–densidad, marca el límite superior de las combinaciones de tamaño densidad, sobre ésta no es posible encontrar rodales. El desarrollo de las otras líneas se basa teóricamente en la línea de la máxima relación tamaño-densidad (A), la cual tiene una densidad relativa de 1,0 ó 100%. Una segunda línea (B), marca la iniciación de la mortalidad, se define cuando los rodales comienzan a presentar mortalidad producto de la densidad. Una tercera línea (C), marca las condiciones donde los árboles ocupan totalmente el sitio y el rodal es altamente productivo. Por último una cuarta línea (D), indica el cierre de copas. (Drew y Flewelling, 1979; Newton, 1997; Saunders y Puettmann, 2000; Shaw y Long, 2007, Gezan *et al.* 2007)) (Figura 5-1).

Solomon y Zhang (2002), observaron que la línea de autorraleo ha sido comúnmente expresada por diversos autores a través de los siguientes modelos matemáticos:

$$\text{Ln (N)} = \alpha -1,605 \text{ Ln (DMC)} \quad (\text{Reineke, 1933}).$$

$$\text{Ln (VM)} = \alpha -1,5 \text{ Ln (N)} \quad (\text{Drew y Flewelling, 1977}).$$

$$\text{Ln (W)} = \alpha -0,5 \text{ Ln (N)} \quad (\text{Zeide, 1987}).$$

$$\text{Ln (DMC)} = \alpha -0,625 \text{ Ln (N)} \quad (\text{Jack y Long, 1996}).$$

Donde:

VM = Volumen medio. *W* = Total de biomasa o total de volumen. *DMC* = Diámetro medio cuadrático.

α = Constante en la ecuación. *N* = Número de árboles por hectárea. *Ln* = Logaritmo natural.

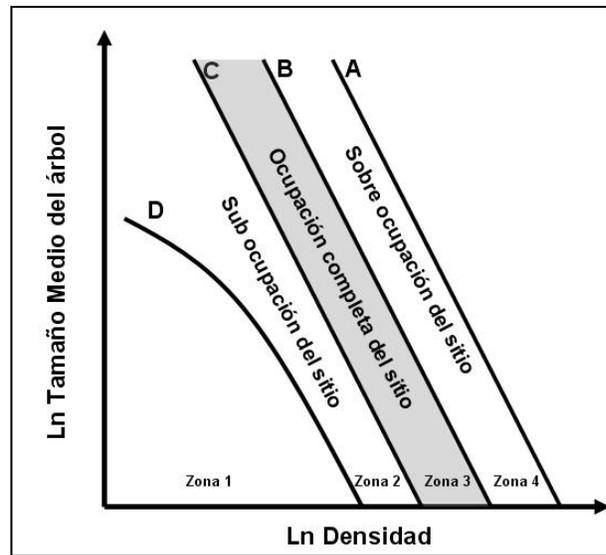


Figura 5-1. Ejemplo de diagrama de manejo de la densidad (DMDs) simple, con líneas que definen el grado de ocupación del sitio (relaciones tamaño densidad a escala logarítmica). Fuente: Newton 1997.

Al respecto Drew y Flewelling (1979) estimaron que para *Pseudotsuga menziesii* la línea B (inminente mortalidad por competencia) se identifica con una densidad relativa de 0,55, 0,4 para la línea C o inicio de la máxima producción del rodal y 0,15 para la línea de cierre de copas. Ando (1968) adaptó un DMD para *Pinus resinosa* donde los índices de densidades relativas para las líneas B, C y D son de 0,8, 0,65 y 0,20 respectivamente. Newton (1997) utilizó índices de densidad relativa para *Picea mariana* de 0,13 para la línea de cierre de copas y 0.5 en la línea de mortalidad inminente por competencia. En Chile recientemente Gezan *et al.* (2007) construyeron un DMDs para *Nothofagus*, sugiriendo considerar índices de densidad de rodal de 60% para la línea de mortalidad inminente por competencia, 30% en la línea del límite inferior de ocupación del sitio (C), y un 20 % para la línea de cierre de copas, además indica que la línea de inicio de autorraleo o de inminente mortalidad por competencia idealmente debería ser obtenida a partir de experimentos en raleos de parcelas permanentes, registrándose el momento en que se empieza a producir la mortalidad inducida por la competencia.

Entre las líneas A y B, se encuentra la zona de autorraleo (sobre ocupación del sitio), donde el crecimiento por árbol y por hectárea disminuye a medida que se incrementa la competencia. Rodales dentro de esta zona están sometidos a una competencia intensa y a medida que la trayectoria del rodal se aproxima a la línea límite de tamaño-densidad, cualquier incremento adicional en el tamaño del árbol medio del rodal irá acompañado por reducciones en densidad. Al continuar el crecimiento en tamaño, la mortalidad se acelerará y la trayectoria del rodal se desplazará paralelamente a éste línea. Bajo la línea B y sobre la línea C se encuentra una zona de ocupación completa del sitio, donde se produce el máximo crecimiento por hectárea, en la cual el crecimiento por árbol continúa disminuyendo conforme aumenta la densidad, mientras que el crecimiento por hectárea alcanza su máximo; dentro de esta zona el manejo de rodales permite maximizar la producción de madera para pulpa y energía. Bajo la línea C se encuentra la zona de subocupación del sitio, aquí el crecimiento del árbol empieza a disminuir a medida que se incrementa la densidad y el crecimiento por hectárea aumenta al incrementar la densidad. Finalmente la zona bajo la línea D se caracteriza por la sub utilización del rodal en donde el crecimiento por árbol es máximo, mientras que el crecimiento por hectárea se incrementa conforme se aumenta el número de árboles (Drew y Flewelling, 1979; Newton, 1997; Saunders y Puettmann, 2000; Shaw y Long, 2007, Gezan *et al.* 2007).

En relación a la composición de los diagramas, va a estar dada por el nivel de información presentada, lo que naturalmente incidirá en su complejidad. Según Farnden (2002), los DMDs pueden ser agrupados de la siguiente forma:

- 1) Los diagramas más simples contienen las líneas de límite básicas que describen la zona de autorraleo y posiblemente la línea de cierre de copas. Estos diagramas son una guía básica para el raleo de rodales o densidades de establecimiento.
- 2) Un segundo nivel de complejidad es alcanzado agregando sistemas de isolíneas que representan la altura dominante, y volumen o diámetro

- (dependiendo de formato). Esta categoría incluye la mayoría de los diagramas de manejo de la densidad producido hasta la fecha.
- 3) Un tercer nivel de la complejidad se alcanza con la adición de la trayectoria del tamaño-densidad (curvas de mortalidad). Estas líneas agregan considerablemente precisión y exactitud a las predicciones.
 - 4) Menos comunes y menos desarrolladas son las propuestas para ampliar las capacidades de los diagramas de manejo de la densidad mediante la introducción de ejes adicionales. Las propuestas han incluido parámetros adicionales para explicar variaciones en el límite máximo de la relación tamaño-densidad resultado de combinaciones de especies y de calidad de sitio.

En la literatura se puede encontrar dos tipos principales de formatos de diagramas de manejo de la densidad: los primeros producidos por científicos japoneses e introducidos a Norteamérica por Drew and Flewelling (1977 y 1979), que se caracterizan por el uso del volumen medio del árbol en el eje vertical y la densidad por hectárea en el eje horizontal, producido en varias regiones de Canadá, de los Estados Unidos, del Japón y de Corea. El segundo formato propuesto por McCarter y Long (1986) se diferencia del primero por emplear el DMC en el eje vertical en vez del volumen medio por árbol. Long y Smith (1984) discutieron la validez de usar el DMC como alternativa al volumen medio por árbol en los diagramas de manejo de la densidad señalando que estos diagramas son más fáciles de utilizar debido a que el DMC es un parámetro de fácil medición en terreno y que además, hay una mayor capacidad entre silvicultores de comprender el tamaño del árbol por el diámetro más que por el volumen del árbol del medio, este formato de DMD se ha aplicado principalmente a especies a través de los Estados Unidos, pero también a las plantaciones de la teca en la India (Farnden, 2002) y en Italia (Vacchiano *et al.* 2008).

El desarrollo de software de diagramas de manejo de la densidad, como los desarrollados por Woods *et al.* (1998) en Canadá, que incorpora las mismas relaciones, pero simplificando aún más la herramienta en cuanto a su uso; y el de Mack y Burk (2002) diseñado para asistir a los Ingenieros Forestales en las alternativas de manejo en Red Pine en Estados Unidos, son productos que deben incorporarse en el desarrollo de los DMD.

A través del uso de DMD el gestor forestal puede de manera objetiva determinar esquemas de control de la densidad, espaciamiento o intensidad de raleo y manejos para una multiplicidad de aplicaciones y usos, entre los que destacan los siguientes: a) maximización de la productividad del sitio en base a objetivos de producción definidos (Drew y Flewelling 1979; Newton 1997; Farnden 1996); b) para desarrollar regímenes relativos a la manipulación del hábitat de la vida silvestre (Smith y Long 1987, Lilieholm *et al.* 1994, Shaw y Long 2007); c) para manejar la susceptibilidad de los rodales a ser atacados por pestes d) para manejar estructuras de bosques con la resistencia al viento; e) para aumentar la diversidad en los rodales y f) recientemente para la protección contra desprendimientos rocosos (Vacchiano *et al.* 2008) y evaluar la estabilidad del rodal (Castedo, 2009).

Los diagramas se han desarrollado para numerosas especies japonesas, norteamericanas y canadienses (Flewelling *et al.* 1980, Flewelling y Drew 1985; McCarter y Long 1986, Smith 1989, Dean y Jokela 1992; Dean y Baldwin 1993; Newton y Weeman 1994; Farnden, 1996; Saunders y Puettmann, 2000; Penner *et al.* 2002, Swift 2003, Long 2005, Shaw and Long (2007). Recientemente también se ha construido esta herramienta en Europa, específicamente en España e Italia (Vacchiano *et al.* 2008; Valbuena *et al.*, 2008, Castedo *et al.* 2009) y en Chile Gezan *et al.* (2007) proponen un diagrama de manejo de la densidad para renovales de Roble, Raúlí y Coigue, basado en el modelo de Gingrich (1967).

En Chile, Donoso *et al.* (2007) evaluó las relaciones tamaño-densidad en bosques secundarios de *D. winteri* en tierras bajas de la Isla de Chiloé, con el objetivo de determinar el efecto fisiográfico y de la composición de especies sobre las

relaciones de tamaño-densidad, así como describir las relaciones de tamaño máximo-densidad para estos bosques secundarios. Los resultados determinaron que las relaciones tamaño-densidad son independientes del sitio, pero sugieren que no son independientes de la composición de especies. También ilustran que las relaciones de tamaño-densidad no siguen la pendiente universal de reducción del número de árboles con el aumento del diámetro medio cuadrático.

Nyland (2002) señala que las primeras guías de manejo densidad no reconocen el efecto de la composición de especies per sé, éstas se aplicaron a tipos de comunidades de bosques simples para una región específica o para rodales puros. Más tarde las investigaciones demostraron diferencias en la razón área-árbol entre grupos separados de especies y mostraron los beneficios de ajustar la densidad relativa reflejando la composición de especies para lo cual existen tres opciones:

- a) Algunas guías de manejo presentan curvas diferentes para cada tipo de comunidad forestal particular o específica.
- b) Presentar curvas de 100% de densidad relativa para diferentes grupos de composición de especies o tipo de bosque mixto, por ejemplo: 70% de área basal de canelo (Grupo CA1, que presenta dominancia de canelo); 50% de área basal de canelo (Grupo CA2.):
- c) Otra opción planteada es utilizar factores de conversión en base a área basal por especie y clase de tamaño, lo que produce una estimación de la densidad relativa que refleja la composición de especie en cada rodal por separado.

Los renovales de *D. winteri* han sido motivo de estudios de trabajos de tesis y proyectos productivos, de los cuales muy pocos son los que se han publicado en revistas científicas. Los temas tratados son de descripción y modelación de su estructura cuantitativa y evaluación de ensayos de respuesta al manejo silvícola (Ballhary, 1984; Sánchez, 1986; Calquín, 1986; Corvalán *et al.* 1987; Niebuhr, 1988; Cerda, 1990; Navarro, 1993; Navarro *et al.* 1997; Navarro *et al.* 1999). Sin

embargo, el manejo de la densidad y su relación con estados de desarrollo y niveles de competencia, asociado a esquemas de manejo a nivel de rodal, requiere de herramientas como los diagramas de manejo de la densidad que no han sido difundidas en el país y que actualmente ocupan la atención por su simplicidad y aporte práctico a la gestión de los bosques naturales, y que deben implementarse a objeto de cautelar las intensidades de los raleos, de manera de no afectar los procesos ecosistémicos de estos bosques y conciliarlos con los objetivos de sus propietarios. Esto cobra relevancia con la aprobación de la “Ley de Bosque Nativo” en Chile y a la presión de uso que tiene actualmente este recursos para fines dendroenergéticos.

El objeto de estudio corresponde a bosques de segundo crecimiento dominados por *D. winteri*, que se definen como coetáneos, en su gran mayoría no presentan intervenciones y se encuentran en estados de desarrollo de monte bravo, latizal y fustal delgado; lo cual permite encontrar en gran parte de los renovales condiciones donde se produce mortalidad natural por competencia.

Este estudio tiene como objetivos:

- a) Construir un diagrama de manejo de la densidad para bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* en el sur de Chile.
- b) Evaluar el desempeño del diagrama de manejo de la densidad en la planificación y evaluación de raleos en bosques de segundo crecimiento dominados por *D. winteri*,

5.3 Método.

5.3.1 Área de estudio.

El estudio abarcó información de bosques secundarios de *D. winteri* entre los paralelos 40° y 43° S y entre los meridianos 73° y 74° O, en altitudes de 50 a 600 m.s.n.m. y pendientes menores a 20%. La región presenta un clima templado lluvioso, con temperaturas mínimas en julio de -2 °C y máximas en enero de 30 ° C (Di Castri y Hajek 1976). La precipitación media anual varía entre 1.500 y 4.000 mm (Di Castri y Hajek 1976, Aravena *et al.* 2002). Los suelos donde se establecen estos bosques secundarios de *D. winteri* son delgados (30 a 80 cm), de mal drenaje, altamente ácidos y tienen una capa superficial de humus ácido que muestra un moderado grado de lixiviación de materia orgánica dentro del sustrato mineral (Donoso *et al.* 1985, 1993). Es posible encontrar áreas con suelos bien drenados a imperfectamente drenados, originados de cenizas volcánicas; sin embargo, se encuentran en distinto grado de empobrecimiento por el manejo deficiente y uso intensivo.

5.3.2 Fuente de información.

Los datos utilizados para la construcción del DMD provienen de una red de parcelas permanentes y otras temporales que fueron establecidas por la Universidad Austral de Chile (1986 al 2004), el Instituto Forestal (2006) y la Universidad Católica de Temuco (2007). Las unidades muestrales son rectangulares con superficie de 500 a 1000 m²., dependiendo del estado de desarrollo del bosque, siendo mayores en estados fustales y menores en el estado de monte bravo. En cada unidad muestral

se registraron las coordenadas UTM, fuente del inventario, año de medición, comuna, altitud, exposición, pendiente, posición fisiográfica, estado de desarrollo, tipo de intervención y cobertura de copa. A nivel de árbol se registró la especie, diámetro altura de pecho (DAP), sanidad, forma, dominancia y a una muestra de los árboles mayores a cinco cm. de DAP se les registró la altura total, altura comienzo de copa y área de copa. La base de datos contiene 300 unidades muestrales, donde predomina la especie *D. winteri* constituyendo bosques puros, con más del 70% de participación en términos de área basal y volumen, de las cuales 173 corresponden a bosques no intervenidos y 123 habían tenido algún grado de intervención.

Se determinaron los parámetros dasométricos, diámetro medio cuadrático, área basal, volumen e índice de densidad relativa (Reineke 1933, Curtis 1971), variables necesarias para la construcción del diagrama de manejo de la densidad. La altura dominante fue calculada como el promedio de los 100 árboles de mayor diámetro por hectárea.

Se calculó el índice de densidad relativa (IDR) de Curtis (1971) definido como la razón entre el número de árboles por unidad de superficie de un rodal (N_d) y el máximo número (N_{max}) de árboles que podría alcanzar para el mismo tamaño promedio, ya sea, diámetro medio cuadrático o volumen medio del árbol, y se obtiene a partir de la curva de tamaño máximo versus densidad y permite identificar diferentes niveles de ocupación de sitio y de competencia (5-1):

$$IDR = \frac{N_d}{N_{MAXd}} \quad (5-1)$$

donde IDR es el índice de densidad de rodal, N_d es el número de árboles por hectárea para un tamaño dado "d" de diámetro medio cuadrático, N_{MAXd} corresponde al máximo número de árboles estimado con la función de tamaño máximo densidad para el tamaño "d".

La tabla 5-1 presenta la estadística descriptiva de los datos utilizados para la construcción del diagrama de manejo de la densidad. Destacando la amplitud de las variables dasométricas que en términos de densidad abarca un rango de 333 a 10350 árboles por hectárea, para el diámetro medio cuadrático de 6,77 a 36,23 cm, en volumen de 52 a 874 m³/ha y en altura de 10 a 25 metros; en términos de variabilidad, la altura presenta la menor cifra y la mayor está dada por la densidad.

Tabla 5-1. Estadística descriptiva de los datos usados para la construcción del DMD.

Todos los rodales						
	N (árb/ha)	Ab (m²/ha)	V (m³/ha)	DMC (cm)	H max (m)	IDR
N	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Mínimo	333,33	8,84	52,13	6,77	10,00	0,09
Máximo	10.350,00	102,80	874,39	36,23	25,45	1,14
Media	3.408,80	53,10	377,90	16,13	16,95	0,56
CV (%)	67,24	41,87	49,79	31,49	13,58	42,39
Rodales sin manejo						
	N (árb/ha)	Ab (m²/ha)	V (m³/ha)	DMC (cm)	H max (m)	IDR
N	177,00	177,00	177,00	177,00	177,00	177,00
Mínimo	420,00	19,63	125,72	6,77	10,00	0,19
Máximo	10.350,00	102,80	874,39	36,23	25,45	1,14
Media	4.172,61	63,26	461,83	15,14	17,40	0,66
CV (%)	46,74	29,80	36,79	32,34	15,51	31,55

5.3.3 Construcción del diagrama de manejo de la densidad.

Para construir el DMD y evaluar las relaciones entre las funciones que lo integran, se utilizó la base de datos que se generó, seleccionando las parcelas que cumplieran con el criterio de bosques puros de *D. winteri* (tabla 5-1).

Línea de máximo tamaño-densidad: el tamaño máximo promedio a nivel de árbol para cualquier densidad se obtuvo a través de la relación conocida como la ley del

autorraneo (Drew y Flewelling 1979, Solomon y Zhang 2002, Donoso *et al.* 2007), que fue propuesta por Tadaki y Shidei (1959) y generalizada por Yoda *et al.* (1963). Cuando el logaritmo de la masa promedio es graficado versus el logaritmo de la densidad de las plantas, los puntos forman una línea recta llamada “línea de autorraneo” de la forma como se indica en (5-2):

$$\ln W = k - 3/2 \ln (\text{árboles ha}^{-1}) \quad (5-2)$$

Donde, $\ln W$: logaritmo natural del tamaño promedio del árbol; $\ln (\text{árboles ha}^{-1})$: logaritmo natural de la densidad; k : constante que varía con la especie.

Para este estudio se ajustó la ecuación propuesta por Jack y Long (1996), que consideró el logaritmo natural del DMC como la variable de tamaño medio, priorizando la predicción y utilidad práctica por sobre la lógica explicativa, quedando la función [5-3] de tamaño versus densidad de la siguiente forma:

$$\ln dmc = \alpha + \beta \ln N \quad (5-3)$$

Donde, $\ln dmc$ = logaritmo natural del diámetro medio cuadrático; $\ln N$ = logaritmo natural de la densidad (árboles ha^{-1}); α , β = parámetros del modelo.

La determinación de la línea máxima tamaño–densidad se realizó a través de análisis de regresión mediante el método de los mínimos cuadrados ordinarios corregidos (Zhang *et al.* 2005), utilizándose las parcelas sin intervención. En una primera etapa, al ajustar el modelo se obtiene una línea de autorraneo considerada promedio, que representa todos los datos y permite la existencia de puntos sobre la línea (Solomon y Zhang 2002). Luego, para obtener el límite máximo de la línea de autorraneo, se identificaron las tres unidades muestrales que presentan el máximo residual y se obtiene el valor promedio residual máximo ($\max e_i$), cifra que se suma al parámetro interceptor α , generando una línea paralela que representa la máxima

relación tamaño densidad (Zhang *et al.* 2005), procediendo de la siguiente manera [5-4]:

$$MCOC = \alpha + \max ei \quad (5-4)$$

Donde, max ei: máximo residual; α : parámetro interceptor.

Isolíneas de volumen. Las isolíneas de volumen se ajustaron agregando las unidades muestrales que presentaban intervenciones, de modo de contar con diferentes niveles de competencia y ocupación del sitio. La estimación del volumen se realizó mediante el uso de funciones generales a nivel de árbol, utilizando el DAP y altura total como variables predictoras (Navarro *et al.* 1999). Se evaluaron modelos probados con buenos resultados por diversos autores (Penner *et al.* 2002, Newton 1997, Shaw y Long 2007). El modelo utilizado por Vacchiano (2008) fue el que presentó un mejor comportamiento, tanto en el ajuste como en sus capacidades predictivas. Las isolíneas de volumen se generaron expresando el volumen total del rodal en función del DMC y la densidad, mediante la siguiente ecuación (5-5):

$$V = b_1 N (DMC - b_2)^{b_3} \quad (5-5)$$

Donde, V: volumen del rodal en $m^3 ha^{-1}$; N: densidad del rodal (árboles ha^{-1}); DMC: diámetro medio cuadrático (cm); b_1, b_2, b_3 : parámetros del modelo.

Esta ecuación modela muy bien la relación entre el volumen medio del árbol y el DMC, produciendo curvas de volumen ligeramente cóncavas cuando es trazado sobre un diagrama de manejo de la densidad.

Isolíneas de altura dominante. Las parcelas usadas para ajustar las isolíneas de volumen también se utilizaron para ajustar las isolíneas de altura dominante. Las isolíneas de altura dominante se generaron con un modelo no lineal que relaciona la altura dominante con el DMC y la densidad (5-6):

$$H_{100} = DMC / (b_1 - b_2 \ln(N)) \quad [5-6]$$

Donde, H_{100} : altura media de los cien árboles dominante (m); N : densidad del rodal (árboles ha^{-1}); DMC : diámetro medio cuadrático (cm); b_1, b_2 : parámetros del modelo.

En este modelo se fuerza el signo negativo del coeficiente b_2 , de tal manera que explique la influencia inversa de la densidad del rodal sobre el diámetro de árbol. Previamente se probaron otros modelos que no arrojaron mejores resultados en términos de la bondad del ajuste y capacidades predictivas (Drew y Flewelling 1979, Penner *et al.* 2002, Long y Shaw 2005, Castedo *et al.* 2009).

Los modelos se evaluaron mediante la bondad del ajuste, a través del coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de la estimación (S_{yx}), y su bondad de la predicción, a través de la diferencia agregada (DIFA) y la raíz del error medio cuadrático (REMC) (5-7), (5-8):

$$REMC\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{\bar{Y}} \quad (5-7)$$

$$DIFA\% = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \cdot \frac{100}{\bar{Y}} \quad (5-8)$$

Donde, \hat{Y}_i : valor estimado; Y_i : valor observado, n : número de observaciones; \bar{Y} : media observados.

5.3.4 Aplicación del diagrama de manejo de la densidad.

La planificación de regímenes de raleo es uno de los usos más útiles de un DMD. Los diagramas pueden ser usados para determinar la oportunidad de la intensidad de los raleos en función de los objetivos propuestos. También pueden ser usados para comparar y escoger la oportunidad de cosecha entre varias alternativas probables (Farnden, 1996). Los pasos para realizar una adecuada planificación de esquemas de manejo mediante el uso de un DMD, se describe a continuación:

- I. Definir los límites superiores e inferiores de crecimiento del stock del rodal. Esto representa una compensación silvicultural entre el crecimiento máximo del rodal, el máximo crecimiento de árbol individual y el vigor (Drew y Flewelling, 1979; Daniels *et al.* 1982).
- II. Definir el estado final del rodal o rodal meta en función de criterios de decisión como DMC final, área basal final o máximo crecimiento anual; también puede ser definido por una combinación lógica de dos de las siguientes variables altura dominante, DMC, densidad y/o volumen comercial; dependiendo de las variables usadas en la construcción del diagrama (Castedo *et al.* 2009).
- III. Desde el rodal meta o final de rotación se traza la trayectoria del rodal hasta la línea que marca la ocupación total del sitio o densidad relativa fijada y el rodal es altamente productivo. En el caso de nuestro diagrama esta situación está dada por la línea que grafica la densidad relativa de 0,30.
- IV. El raleo aumenta el DMC, sin embargo la altura dominante se mantiene constante para raleos por lo bajo grado 1, 2 y 3 (Nyland, 2002). La trayectoria del raleo se traza paralela a las isolíneas de altura, manteniendo la altura media dominante constante, lo que simula un raleo por lo bajo ya que en esta intervención se eliminan aquellas clases de copas que están suprimidas, moribundas o cuya posición es intermedia a baja (Daniel *et al.* 1982). No obstante en las intervenciones aplicadas en estos renovales, es factible realizar un raleo por lo alto en cuyo caso la altura dominante promedio disminuiría.
- V. Desde el punto de raleo anterior se continua trazando nuevamente hacia atrás o condición original del rodal la trayectoria de acuerdo a criterios definidos para un “primer o segundo” raleo de acuerdo a la programación del esquema de manejo. Este método de trazado se mantiene hasta llegar a la

condición original o actual del rodal (Farnden 1996, Long y Shaw 2005, Castedo *et al*, 2009).

Para efectos de evaluar el uso del diagrama se trazaron los parámetros dasométricos de intervenciones de raleo de un ensayo con cuatro tratamientos correspondientes a diferentes intensidades de raleo, que fue establecido el año 1985 en la zona de la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile, y que ha sido medido periódicamente hasta el año 2007.

Se aplicaron intensidades de raleo moderado, fuerte y severo, reduciendo las densidades relativas de 0,60 de los bosques sin manejo a cifras promedios densidad relativa de 0,37; 0,21 y 0,12 respectivamente; que de acuerdo a diversos autores (Drew y Flewelling 1979; Newton, 1997; Penner *et al*. 2002), corresponden a zonas ocupación completa del sitio ó máxima producción del rodal; zona de subutilización del sitio y zona de crecimiento libre. El tratamiento de raleo moderado fue intervenido en una segunda oportunidad después de 11 años de aplicada la primera intervención, cuando el bosque alcanzó un IDR de 0,49 promedio y presentaba signos de mortalidad por competencia, reduciendo la densidad relativa a una cifra de 0,35 de IDR.

5.4 Resultados.

5.4.1 Diagrama de manejo de la densidad.

De un total de 300 parcelas utilizadas en este estudio, 173 se seleccionaron para determinar la línea de la máxima relación tamaño-densidad, ya que éstas representan rodales en un estado de autorraleo o mortalidad por competencia. El resto de las parcelas se ubican por debajo de la zona de autorraleo, principalmente porque se encuentran intervenidas o no existe una suficiente regeneración.

La relación entre el DMC y la densidad de todas las parcelas usadas en el estudio y la trayectoria de la línea de autorraleo obtenida para los renovales de *D. winteri* se observa en la figura 5-2.

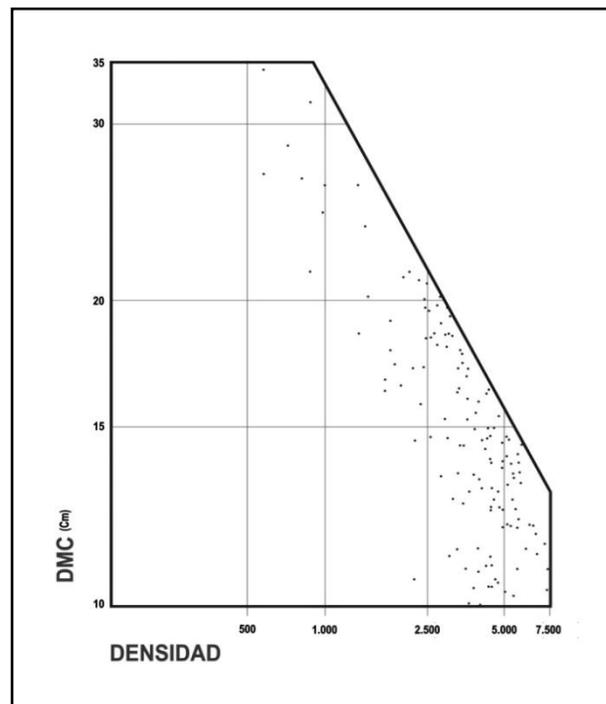


Figura 5-2. Relación del DMC y densidad de las parcelas usadas en el estudio y línea de autorraleo.

La densidad relativa en los rodales de *D. winteri* estudiados varían entre 0,07 y 1,00, determinando que el 56% de los rodales tienen una densidad relativa sobre 0,40; alrededor de un 25% se encuentran entre 0,40 a 0,55 y entre un 0,15 a 0,40 se encuentran más del 40% de los rodales estudiados.

Al considerar los bosques sin intervención aparente, determinamos que el 67% presenta un IDR mayor o igual a 0,40 y un 48% sobre 0,55, lo que indica el alto nivel de competencia y mortalidad que se está produciendo en estos (tabla 5-2).

Tabla 5-2. Distribución de frecuencias de la densidad relativa para el total de rodales, para rodales sin manejo y rodales intervenidos.

Densidad relativa	Total (%)	No intervenido (%)	Intervenido (%)
< 0,15	3,8	0,7	3,1
0,15-0,30	20,0	5,9	14,1
0,30-0,40	18,9	9,0	9,9
0,40-0,55	24,8	16,2	8,6
0,55-0,70	18,4	14,8	3,5
0,70-0,85	10,7	10,3	0,3
0,85-1,00	2,8	2,1	0,7
1,0	0,7	0,7	0,0
Total	100,0	59,7	40,3

En la tabla 5-3 se presentan los modelos seleccionados de tamaño-densidad, de isolíneas de volumen e isolíneas de altura dominante, con sus correspondientes parámetros de la regresión, errores estándar, el coeficiente de determinación (r^2) y medidas de la bondad de la predicción a través de la medida de sesgo (diferencia agregada, DIFA) y de exactitud del modelo (raíz del error medio cuadrático, REMC). En el caso del modelo que relaciona tamaño medio y la densidad se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) de 0,9146 ($P < 0,001$); para el modelo de isolíneas de volumen se observa una correlación fuerte y positiva entre el volumen total del rodal con la densidad y el DMC, con un r^2 de 0,832 ($P < 0,001$); y para el caso del modelo de isolíneas de altura que relaciona el DMC con la altura dominante

promedio y la densidad, la correlación está dada por un coeficiente de determinación de 0,776 ($P < 0,01$). En el caso de la bondad de predicción se observa que los tres modelos son insesgados con DIFAS menores a 2%, y los errores de estimación (REMC%) para los modelos a y b son 6,28% y 11,7% respectivamente, destaca el modelo c que posee la menor capacidad predictiva con un valor de error de 16,2%.

Tabla 5-3. Bondad de ajuste y bondad de predicción de los modelos.

	Modelo	b1	b2	b3	R²	DIFA (%)	REMC (%)
(a)	$\ln DMC = b_1 + b_2 \ln N$	6,621821	-0,463137		0,914	-0,625	$\pm 2,12\%$
	Error estándar.	0,148642	0,018113				
(b)	$V = b_1 N (DMC - b_2)^{b_3}$	0,0002908	-0,687828	2,16173	0,832	1,99	$\pm 11,70\%$
	Error estándar.	0,000213	1,429610	0,19209			
(c)	$H_{100} = DMC / (b_1 - b_2 \ln(N))$	3,2622147	-0,29492		0,776	0,34	$\pm 16,20\%$
	Error estándar.	0,0852787	0,01088				

La función de tamaño máximo densidad determinada en base al modelo (a) de la tabla 5-3, tiene una pendiente de -0,463137 y un intercepto corregido a partir del parámetro b_1 del modelo ajustado (a), cuyo valor es 6,68864; expresándose la línea de autorraleo de la siguiente forma (5-9):

$$\ln DMC = 6,68864 - 0,463137 \ln N \quad (5-9)$$

En el diagrama es posible identificar las líneas de densidad relativa, las isolíneas de volumen y las isolíneas de altura media dominante. En el caso de las líneas de densidad relativa comienzan con la línea del autorraleo o máxima relación tamaño densidad, los rodales que se encuentren sobre la línea presentan una densidad relativa de 1,0, también representa el límite derecho del DMD. A partir de ésta y en forma paralela se trazaron otras cuatro líneas de densidad relativa, sobre la base de

las mediciones de la evaluación de las parcelas permanentes: una primera que marca el inicio de la mortalidad, con una densidad relativa (DR) de 0,55 y una segunda línea de una densidad relativa de 0,4 que define las condiciones donde los árboles ocupan totalmente el sitio y el rodal es altamente productivo, una tercera línea de DR de 0,30 que define el límite inferior de raleo para evitar caída por viento y manejar los bosques para objetivos de producción de trozas aserrables o debobinables y finalmente una cuarta línea de DR de 0,15 que indica el cierre de copas. (Figura 5-3).

Las isolíneas de volumen están representadas por siete líneas que estiman volúmenes de 100, 150, 200, 300, 400, 500 y 600 m³/ha y por interpolación se pueden obtener los valores intermedios para los rodales, cuya estimación se realiza ubicando un rodal en el diagrama interceptando su DMC y densidad. Y para el caso de las isolíneas de altura dominante, éstas están representadas por cuatro líneas que indican alturas de 10, 15, 20 y 25 metros.

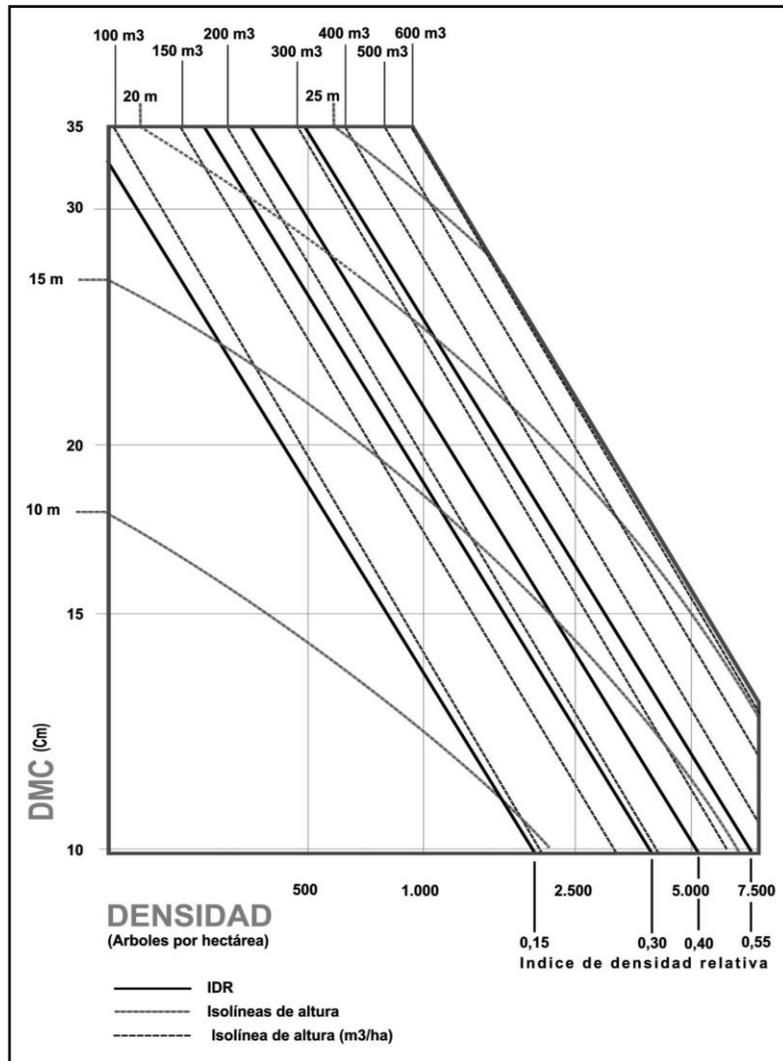


Figura 5-3. Diagrama de manejo de la densidad.

Los límites de uso del DMD están dados para renovales de *D. winteri* que presentan DMCs que van desde los 10 hasta los 35 cm y densidades entre 600 a 7.500 árb/ha, dado que en este universo se encuentran más del 98% de las unidades muestrales usadas en el estudio.

5.4.2 Aplicación del DMD para definir tecnologías silvícolas.

5.4.2.1 Ensayo de raleos en la Cordillera de la Costa de Valdivia.

La aplicación del DMD en el ensayo de raleo, determinó que el tratamiento de raleo fuerte después de 21 años desde la intervención presenta un IDR de 0,43 ubicándose en la zona de inminente mortalidad por competencia y el raleo severo en la última medición presenta un IDR de 0,32, lo que indica una subutilización del sitio. Por su parte el tratamiento testigo presenta un IDR sobre un 0,55 ubicándose en la zona de alta mortalidad por competencia, esta situación se observa en la figura 6 donde el acercamiento a la línea del autorraleo del tratamiento testigo es evidente. (Tabla 5-4 y Figura 5-5).

El raleo moderado después de 11 años de aplicada la primera intervención se mantiene en la zona de plena ocupación del sitio con un IDR de 0,49, sin embargo las parcelas permanentes presentaban árboles muertos por competencia, decidiéndose realizar un segundo raleo bajando el IDR a 0,35 a la edad de 41 años, luego de 11 años de transcurrido el segundo raleo el rodal alcanza un IDR de 0,40 indicando el comienzo de la zona de plena ocupación del sitio (Tabla 5-4).

Son relevantes las diferencias experimentadas de tamaño del árbol de área basal media en los distintos tratamientos. Después de 21 años de aplicados los raleos se determinaron crecimientos para el período de 11,7 cm, 12,8 cm, 15,8 cm y 4,3 cm para los tratamientos de raleo moderado, fuerte, severo y testigo respectivamente; y en términos de crecimiento anual periódico (CAP), alcanzó cifras de 0,55, 0,61, 0,71 y 0,20 cm/año. Esto se explica por cifras menores de densidad, lo que implica una menor competencia y aumento significativo del área de copa en los árboles liberados, alcanzando un área de 11,85 m²/árbol para el tratamiento del raleo severo, 6,14 m²/árbol para el raleo fuerte, 5,53 m²/árbol para el moderado y 4,20 m²/árbol para los árboles dominantes del tratamiento testigo. (Tabla 5-4 y 5-5).

Tabla 5-4. Ensayos de raleo instalados en Hueicolla provincia de Valdivia y medidos desde el año 1985 hasta el año 2007.

Tratamientos	Esquema de raleo	Densidad (árbs/ha)	DMC (cm)	Año	Edad (años)	IDR	Volumen bruto (m ³ /ha)
Raleo moderado (E1)	Estado inicial	7.006	10,6	1985	30	0,61	395,8
	Raleo 1	2.494	13,6	1986	31	0,37	216,7
	Estado intermedio	2.500	14,6	1990	35	0,44	254,6
	Estado intermedio	2.228	16,2	1996	41	0,49	285,5
	Raleo 2	1.139	19,0	1996	41	0,35	189,3
	Estado intermedio	928	21,4	2001	46	0,37	228,6
	Estado Intermedio	928	22,3	2007	51	0,40	240,1
Raleo fuerte (E2)	Estado inicial	5.678	11,4	1985	30	0,58	361,0
	Raleo 1	1.094	15,3	1986	31	0,21	125,2
	Estado intermedio	916	18,0	1990	35	0,25	148,6
	Estado intermedio	867	20,9	1996	41	0,33	194,5
	Estado intermedio	828	23,4	2001	46	0,40	238,5
	Estado intermedio	828	24,2	2007	51	0,43	251,3
Raleo Severo. (E3)	Estado inicial	5.637	10,7	1985	30	0,50	309,1
	Raleo 1	611	15,3	1986	31	0,12	65,8
	Estado intermedio	572	18,0	1990	35	0,16	90,7
	Estado intermedio	534	20,9	1996	41	0,20	118,3
	Estado intermedio	506	23,9	2001	46	0,26	151,1
	Estado intermedio	506	26,5	2007	51	0,32	179,8
Sin manejo (E4)	Estado inicial	6.174	11,7	1985	30	0,67	354,7
	Estado intermedio	5.955	12,8	1990	35	0,78	404,8
	Estado intermedio	4.583	13,0	1996	41	0,62	408,2
	Estado intermedio	3.455	14,4	2001	46	0,59	423,8
	Estado intermedio	3.483	15,0	2007	51	0,64	439,4

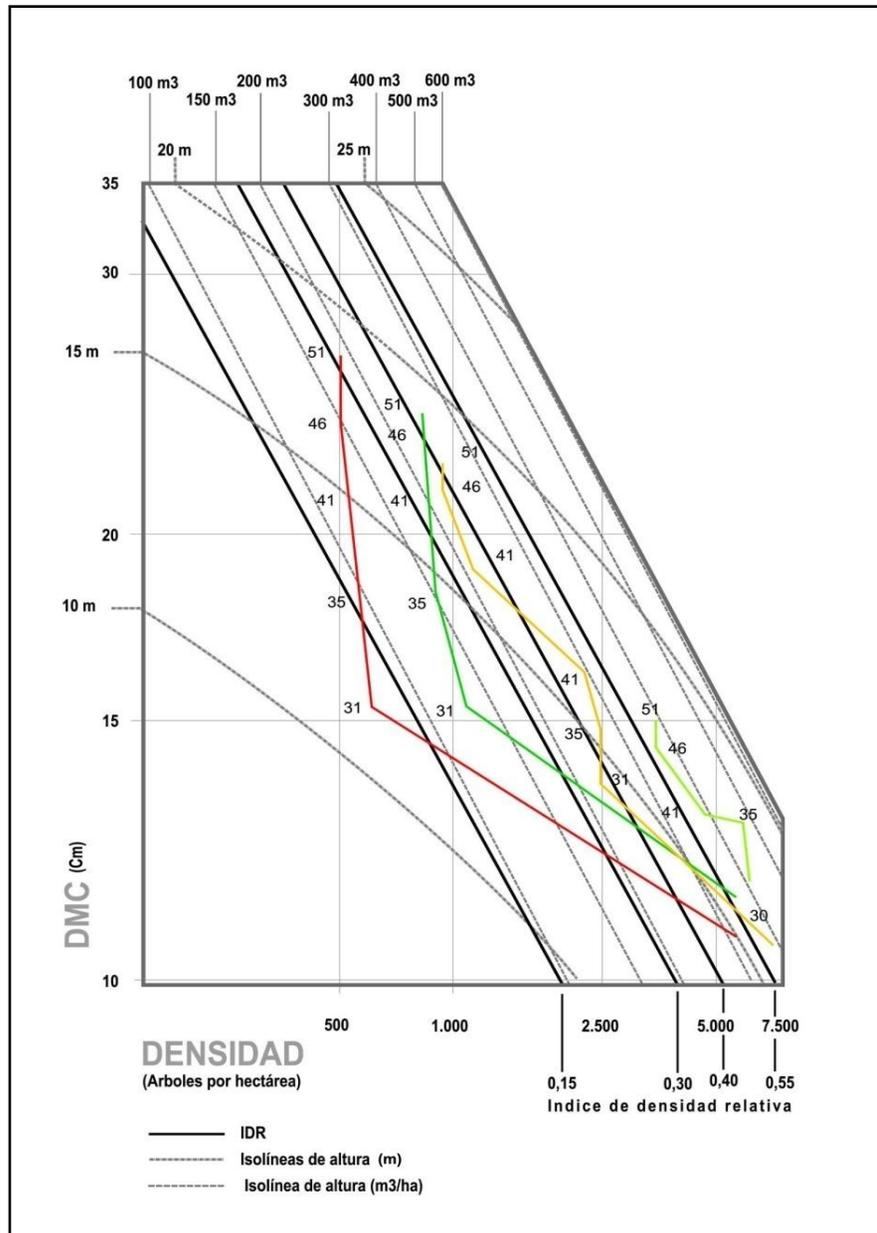


Figura 5-4. Trazado en el DMD de los ensayos de raleo instalados en Hueicolla provincia de Valdivia y mediciones desde el año 1985 hasta el año 2007.

Los tratamientos E1 y E2 se ubicaron después de 21 años del primer raleo en un IDR cercano a 0,40 que corresponde al límite inferior de la plena ocupación del sitio; el tratamiento del raleo severo alcanzó un IDR de 0,32 que corresponde a la zona de subutilización del sitio y el testigo por su parte presentó un IDR de 0,64, que se

ubica en una zona de alta mortalidad por competencia. Estos resultados indicaron que a menor IDR residual se produjo un aumento del desarrollo de la copa de los árboles residuales del raleo y mayor tamaño del árbol en términos de diámetro y volumen.

Planificar una trayectoria de raleos en un renoval de *D. winteri* de una edad promedio de 30 años, que inicialmente presenta un IDR de 0,60 y reducirlo a cifras que van de 0,15 a 0,25, significó experimentar caída de árboles por viento, si bien la copa se desarrolla y aumenta el diámetro a nivel de árbol la producción física del sitio es menor.

Tabla 5-5. Resultados de índice de densidad relativa (IDR), mortalidad, área de copa promedio y crecimiento anual periódico para los tratamientos de raleo después de 21 años de aplicadas las intervenciones-Cordillera de la Costa de Valdivia-Chile.

Tratamiento	IDR	Mortalidad por competencia	Área de copa (m ²)	CAP (cm)
E1 (moderado)	0,49	Baja	5,53	0,55
E2 (fuerte)	0,43	No presenta	6,14	0,61
E3 (severo)	0,32	No presenta	11,85	0,75
E4 (testigo)	0,64	Alta	4,60	0,20

5.4.2.2 Planificación de intervenciones de raleo en renovales de *D. winteri*.

Para la aplicación del diagrama de manejo de la densidad desarrollado para *D. winteri*, se definió un rodal meta cuyas características son un DMC de 35 cm y una densidad de 400 árboles cosecha por hectárea a una edad de 60 años, cifra a la cual se le debe sumar las especies acompañantes tolerantes y de tolerancia media, que se incorporan al bosque por regeneración natural que no se encuentran en tamaño de cosecha.

Se estableció un límite superior de ocupación de sitio correspondiente a una densidad relativa de 0,45 y para el límite inferior del rodal de 0,30, que tuvo como objetivo evitar la mortalidad relacionada a la densidad y permitió mantener la copa viva con un buen vigor. El límite superior de ocupación de sitio puede disminuir en términos prácticos, con una cifra menor del umbral de mortalidad asociada a la densidad. Como el aumento de la producción del rodal es obtenida a expensas del diámetro, las existencias pueden ser obtenidas dejando una baja densidad, de modo que los objetivos de diámetro puedan ser alcanzados tempranamente. Si el rodal está en la línea de denso-mortalidad o sobre ésta, las proporciones de área de copa viva serán menores al 40%, y el promedio del vigor de los árboles se reducirá con severidad (Dean y Baldwin, 1993).

Navarro *et al.* (1999), comprobó para la zona de estudio de caso que, aquellos rodales que tienen densidades relativas sobre un 0,55 poseen mortalidad por competencia y aquellos con densidades relativas de menores a un 0,55 no presentaban árboles muertos a causa de la competencia. En este sentido es importante considerar que el objetivo principal en el ajuste del límite de crecimiento inferior es mantener una ocupación de sitio adecuada, que por lo general se define por encima del cierre de copas lo que marca el principio de la competencia por recursos (Drew y Flewelling, 1979; Dean y Baldwin, 1993).

Además de definir el estado del rodal meta y los límites inferiores y superiores de las existencias del rodal, es importante mencionar que el estado inicial del rodal se caracterizó por un DMC de 11,4 cm y una densidad de 5.678 árboles por hectárea a una edad de 30 años. Este estado de desarrollo en el caso del *D. winteri* es importante de considerar, ya que una gran superficie de renovales de esta especie en Chile se encuentran en estados de desarrollo no oportuno biológicamente para realizar un primer raleo, por lo tanto es importante evaluar el desempeño de los DMD en este tipo de bosques (Figura 5-5 y Tabla 5-6).

La tabla 5-6, presenta la condición original y final del renoval, así como las intervenciones o tecnología silvícola para alcanzar el rodal meta y respetar los

límites inferior y superior de IDR fijados. En el escenario 1, se realizaron tres raleos con intensidades en términos de IDR de 32% en el primer raleo y 15% en los siguientes y periodicidades de 8 a 12 años; en el escenario 2 se realizaron cuatro raleos con intensidades de 9 a 17%, siendo mayor el primero y periodicidades de 9 a 13 años.

Tabla 5-6. Esquemas de raleos tardíos con uso de DMD para renovales de *D. winteri* (E1: 3 raleos; E2: 4 raleos).

Escenario	Esquema de raleo	IDR	Densidad (árb/ha)	DMC (cm)	Edad (años)
E1	Estado final	0,46	400	35	75
	Raleo 3	0,30	400	29	60
	Estado intermedio	0,45	900	24	51
	Raleo 2	0,30	900	20	38
	Estado intermedio	0,45	2000	16	38
	Raleo 1	0,30	2000	14	30
	Estado inicial	0,62	6500	11	30
E2	Estado final	0,46	400	35	77
	Raleo 4	0,30	400	29	62
	Estado intermedio	0,45	700	27	62
	Raleo 3	0,30	700	23	53
	Estado intermedio	0,45	1200	21	53
	Raleo 2	0,30	1200	18	44
	Estado intermedio	0,45	2500	15	35
	Raleo 1	0,40	2500	14	31
Estado inicial	0,57	6500	11	30	

Las líneas de raleo trazadas en el DMD representan la intervención y en éstas se identifican segmentos verticales e inclinados que representan zonas de raleo y de post raleo respectivamente (figura 5-5). En el caso de las líneas verticales (post raleo), el rodal se caracteriza por la mantención de la densidad y aumento de el DMC. En el caso de las líneas inclinadas, estas representan un raleo intermedio (dominantes y codominantes), con mayor extracción de individuos suprimidos y codominantes, esto se refleja en el diagrama donde la pendiente del raleo no sigue estrictamente las isolíneas de alturas dominantes que es lo que ocurre al realizar

un raleo estrictamente por lo bajo suponiendo que el raleo no tiene ningún efecto sobre la altura.

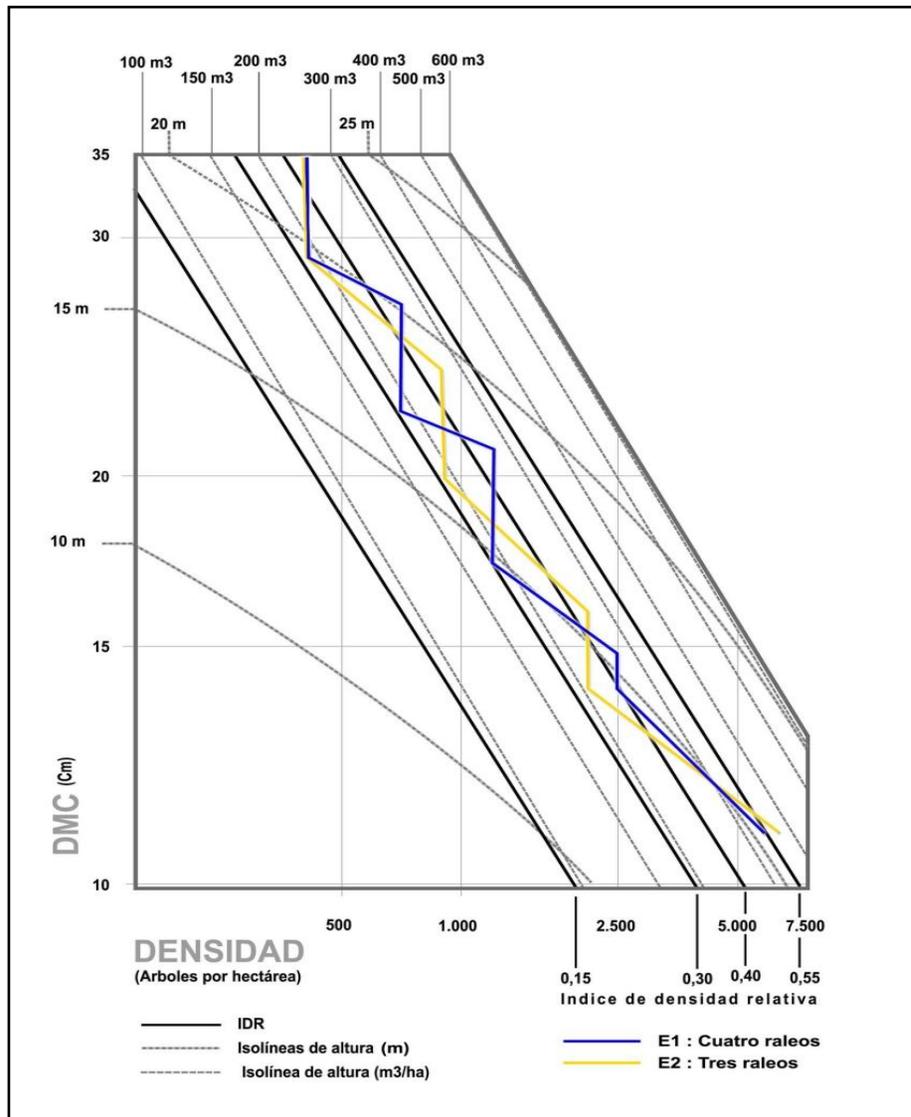


Figura 5-5. Propuesta de raleos tardíos con uso de DMD para renovales de *D. winteri*.

5.5 Discusión.

El diagrama de manejo de la densidad desarrollado para renovales de *D. winteri*, evalúa regímenes de raleos orientados a la producción de madera de mayor precio en Chile. El uso del DMC en la ordenada y la densidad en la abscisa permite a los silvicultores y potenciales usuarios visualizar con mayor facilidad la relación entre la densidad relativa y el tamaño medio de los árboles a través del DMC en vez del volumen medio, tal y como lo plantean Farnden (2002) y Long y Shaw (2005).

La función tamaño–densidad desarrollada, utiliza la ecuación propuesta por Jack y Long (1996) que considera el logaritmo natural del DMC como la variable del tamaño medio en función del logaritmo natural de la densidad. Los parámetros obtenidos en el ajuste de la función son similares a los resultados obtenidos por Venegas (1999) para la misma especie y no comparable al estudio de Donoso *et al.* (2007), ya que estos últimos autores utilizaron el formato propuesto por Reineke (1933).

La obtención de la línea de la máxima relación tamaño densidad mediante la corrección gráfica del parámetro interceptor (b_1), a partir de la función tamaño densidad ajustada mediante mínimos cuadrados ordinarios, es un método ampliamente utilizado por ser simple y arrojar estimaciones robustas. Sin embargo, Zhang *et al.* (2005), plantean que el método de los mínimos cuadrados ordinarios puede producir líneas de autorraleo con pendientes inadecuadas, debido a que este método es sensible a los datos seleccionados para el ajuste; no obstante su utilidad ha quedado demostrada por diversos estudios realizados a nivel mundial.

La curva de la relación tamaño-densidad ajustada, representa el promedio de las situaciones de los rodales, aún cuando esta relación teóricamente es independiente de las condiciones de sitio (Drew y Flewelling, 1979; Newton, 1997; Saunders y Puettmann, 2000; Shaw y Long, 2007). Al respecto, Donoso *et al.* (2007) probó que para *D. winteri* las condiciones fisiográficas y composición de especies afectan solo

parcialmente estas relaciones, sugiriendo que fundamentalmente los cambios que ocurren según variaciones de sitio se relacionan con diferencias en las especies acompañantes en estos bosques secundarios dominados por *D. winteri*. Este es un tema en el cual se debería profundizar debido a las implicaciones potenciales al momento de evaluar esquemas de manejo y controlar el crecimiento de los rodales. Esto sugiere ampliar la capacidad del diagrama mediante la introducción de los ejes adicionales, como la composición de especies y posiblemente calidad de sitio, como lo plantea Farnden (2002).

En relación a las líneas de densidad relativa definidas para bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* de 0,55, 0,40, 0,30 y de 0,15, en base al análisis de mortalidad, desarrollo de copas de las parcelas del presente estudio y a los trabajos de Navarro *et al.* (1999) y Venegas (1999), es posible sugerir las siguientes densidades relativas para efectuar manejo en renovales de *D. winteri* con objetivos productivos maderables:

- a) Mantener densidades relativas sobre un 0,55 no es recomendable ya que en esta zona se produce una alta mortalidad por competencia, la tasa de crecimiento del rodal es mínima, lo que implica que los rodales que se manejen sobre esta densidad relativa demorarán más años en alcanzar los objetivos de corta. Esto lo ilustra la parcela con cifras de 0,50 a 0,78 de densidad relativa y alta mortalidad. En esta zona cualquier incremento del árbol medio irá acompañado de mortalidad (Drew y Flewelling, 1979; Newton, 1997; Saunders y Puettmann, 2000; Shaw y Long, 2007). Al respecto Nyland (2002) indica que densidades relativas hasta un 0,80 podrían justificarse, ya que en estos casos la mortalidad se concentra en individuos suprimidos o intermedios; sin embargo para los renovales estudiados de *D. winteri* que presentan índice de densidad relativa sobre 0,55, sus tasas de crecimiento son mínimas, lo que prolonga el tiempo de cosecha de los árboles futuros de manera importante.

- b)** Con densidades de manejo entre 0,40 y 0,55 de índice de densidad relativa se logra maximizar la producción de biomasa para uso energético o tableros. De acuerdo a lo experimentado rodales que se ubiquen en esta zona presentan menor riesgo de caída por viento.
- c)** Manejar renovales con densidades relativa entre un 0,15 y 0,40, permite concentrar el manejo para madera de alta calidad. Sin embargo, para reducir el riesgo de daño por viento y permitir ingresos en períodos más cortos, lo que es especialmente importante en economías de pequeños y medianos productores forestales, es recomendable densidades relativas límites de 0,30 a 0,45. El tratamiento de raleo moderado representa esta condición, que significa realizar intervenciones cada 8 a 15 años, aumentando su periodicidad en los raleos posteriores con intensidades de extracción que varían de 24% de índice de densidad relativa en el primer raleo y 15% en los raleos sucesivos.
- d)** Ubicar rodales en densidades relativas inferiores a 0,15 significa una subutilización del sitio y máximos crecimientos a nivel de árbol. Al respecto Gezan *et al.* (2007) plantean que densidades bajo esta línea podrían indicar que se requiere enriquecer el rodal. Esta situación queda representada por el raleo severo, donde se redujo la densidad relativa de 0,50 a 0,12, quedando en la zona de crecimiento libre el rodal durante diez años. A nivel de árboles individuales esto significó un aumento del área de copa de los árboles dominantes 2,6 veces respecto del testigo y 1,8 veces el tamaño del árbol de área basal media. A nivel de rodal la producción física disminuyó en un 60 por ciento respecto del testigo.

Al momento de utilizar el diagrama en un rodal de *D. winteri* en particular, los usuarios deben considerar sus limitaciones, las que se describen como sigue:

- a)** Considerar para qué diámetros o densidades es útil, en base a los datos usados para construirlo (Long, 2005). Los límites del DMD están dados por

- DMCs que van desde los 10 hasta los 35 cm y densidades entre 600 a 7.500 árb/ha. Dentro de estos límites se encuentran más del 98% de las unidades muestrales usadas en el estudio.
- b)** Las líneas de densidad relativa son sensibles a la composición de especies del rodal (Long, 2005; Donoso, *et al.* 2007). En este caso la composición de especies fue restringida a rodales con dominancia de *D. winteri*, con al menos un 70% del área basal de esta especie; no analizando en términos específicos las especies acompañantes y su variabilidad.
 - c)** La dinámica y los regímenes de manejo descritos para la situación promedio que representa el diagrama, no son necesariamente verdaderos u óptimos para cualquier rodal en particular, pero sí útiles. Es recomendable en consecuencia considerar funciones de índice de sitio para lograr predicciones de desarrollo del rodal más exactas (Drew y Flewelling, 1977).
 - d)** Los diagramas de manejo de la densidad no incorporan la variable calidad del árbol, sin embargo, en renovales de canelo dada sus altas densidades y la aptitud genética de la especie de formar fustes bastantes rectos, es admisible usar estos diagramas como herramienta de manejo.

Las propuestas silvícolas desarrolladas utilizando el DMD, basadas en las experiencias de raleos de parcelas permanentes definen un estado de desarrollo final para los rodales de *D. winteri* dado por un DMC de 35 cm y una densidad de 400 árboles por hectárea, partiendo de estados iniciales caracterizados por densidades de 6.500 y 5.678 árboles por hectárea, DMCs de 11 y 11,4 cm respectivamente y densidades relativas de 0,62 y 0,57. El rodal se proyecta manteniendo los límites inferiores y superiores de densidad relativa de 0,30 y 0,45 respectivamente, que corresponde a zonas con menor riesgo de caída de árboles por viento y que permite un rendimiento en diámetro a nivel de árbol de un 50% más que no intervenirlos, no sacrificando en términos importantes la producción física a nivel de rodal. Al respecto, Navarro *et al.* (1999) indica que no son recomendables

manejos de los renovales por debajo de este valor al observar daño por viento en ensayos de raleo efectuados en la Cordillera de la Costa de Valdivia (Sector Hueicolla) y la Cordillera de los Andes de las Regiones de De Los Rios y De Los Lagos (sector Lenca).

Un aspecto a tener presente y no discutido en este estudio es que gran parte de la superficie de los renovales de *D. winteri* se encuentran en manos de pequeños y medianos propietarios, para ellos realizar programas de raleo con más de tres intervenciones implica una entrada económica en periodos más cortos lo que constituye un estímulo para el manejo y conservación de estos bosques.

En Chile los diagramas de manejo de la densidad han sido poco desarrollados a pesar de estar ampliamente estudiados en especies japonesas, norteamericanas, canadienses y europeas (Flewelling *et al.* 1980; Flewelling y Drew 1985; McCarter y Long, 1986; Smith, 1989; Dean y Jokela, 1992; Dean y Baldwin, 1993; Newton y Weetman, 1994; Farden, 1996; Saunders y Puettmann, 2000; Penner *et al.* 2002; Swift 2003, Long, 2005; Shaw and Long, 2007; Vacchiano *et al.* 2008; Valbuena *et al.* 2008; Castedo *et al.* 2009). En efecto este estudio constituye el segundo diagrama de manejo de la densidad en nuestro país y es el primero en renovales de *D. winteri*. Al respecto, Gezan *et al.* (2007) desarrolló un diagrama de manejo de la densidad para renovales de Roble, Raulí y Coigue, basado en el modelo de Gingrich (1967), este diagrama constituye una guía básica para el raleo de rodales o densidades de establecimiento, que de acuerdo a Farden (1996), se clasifica como uno de los más simples a desarrollar, ya que contienen las líneas de límite básicas que describen la zona de autorraleo y líneas de densidad relativa. En el caso del diagrama desarrollado en *D. winteri* se avanza en la complejidad al incorporar isolíneas de volumen y altura y corresponde al primero de este tipo desarrollado en el país.

Aunque los diagramas desarrollados en Chile constituyen un importante avance, existen todavía muchos desafíos respecto a esta herramienta, algunos de ellos son:

- a) Constituir mejores bases de datos para el desarrollo de funciones más consistentes y representativas para los renovales en Chile.
- b) Considerar la construcción de funciones de altura dominante/edad incorporando la variabilidad de sitios donde se encuentran las especies objetivos. Esta herramienta usada en combinación de los DMD permite la estimación de la edad de los rodales y por lo tanto, una mejor proyección de los programas de intervención propuestos (Vacchiano *et al.* 2008, Castedo *et al.* 2009).
- c) El desarrollo de diagramas de manejo de la densidad para aplicaciones distintas a la maximización de la productividad, como aquellas estudiadas por otros autores para desarrollar regímenes relativos a la manipulación del hábitat de la vida silvestre, (Smith y Long, 1987; Lilieholm *et al.* 1994; Shaw y Long, 2007); para manejar la susceptibilidad de los rodales a ser atacados por pestes (Whitehead, 2001); para manejar estructuras de bosques con la resistencia al viento (Mitchell, 2000); para aumentar la diversidad en los rodales (Powelson y Martin, 2001) y recientemente para la protección contra desprendimientos rocosos (Vacchiano *et al.* 2008) y evaluar la estabilidad del rodal (Castedo *et al.* 2009), son desafíos de largo plazo para nuestro país.

Finalmente, es importante recalcar que el DMD desarrollado para *D. winteri* es una herramienta que permitirá diseñar y controlar tecnologías silvícolas y representa una excelente aplicación cuando no se cuenta con simuladores de rodal ni usuarios preparados para utilizar esta tecnología, ya que puede ser usado masivamente. (Vacchiano *et al.* 2008, Valbuena *et al.* 2008).

5.6 Conclusiones.

1. Es factible desarrollar un DMD de segundo nivel de complejidad para renovales de *D. winteri* en Chile, basado en los marcos teóricos del principio de autoraleo y la experiencia de su elaboración en otras especies a nivel mundial, con errores aceptables para la planificación y control de tecnologías silvícolas.
2. Los límites de densidad relativa que miden niveles de competencia y ocupación de sitio, para renovales de *D. winteri* son similares a los desarrollados por otros autores, destacando su validación con datos de parcelas permanentes de estudios de intensidades de raleos con más de 20 años de mediciones.
3. La planificación de raleos tardíos en renovales de *D. winteri*, en sitios de productividad media, utilizando el DMD y basado en la experiencia de ensayos de raleos y manejos operacionales, hacen recomendable mantener niveles ocupación de sitio entre las zonas de subutilización (IDR de 30%) y la de inminente mortalidad por competencia (IDR de 45%), realizando al menos tres raleos para alcanzar un rodal meta que permita aportar productos aserrables, lo que reduce el riesgo de caída de árboles por viento y la pérdida de producción física del sitio.
4. El desarrollo de diagramas de manejo de la densidad en los bosques nativos de Chile para múltiples usos, tales como, maximizar la productividad, manejar estructuras de bosques con resistencia al viento, para controlar la diversidad, entre otras aplicaciones, es un desafío de corto plazo dada la presión por el uso de estos bosques y la aprobación de la Ley del Bosque Nativo.

5.7 Referencias.

- Ando, T. (1968).** Ecological studies on the stand density control in even-aged pure stands. *Bulletin* No. 210. *Government Forest Experiment Station*, Tokyo 210: 1–153
- Aravena, J., Carmona, M., Pérez, C., Armesto, J. (2002).** Changes in tree species richness stand structure and soil properties in a successional chronosequence in northern Chiloé Island, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 339-360.
- Armesto, J., León-Lobos, P., y Kalin, M. (1996).** Los bosques templados del sur de Chile y Argentina: una isla biogeográfica. En *Ecología de los Bosques Nativos de Chile*, editado por J. Armesto, C. Villagrán y M. Kalin, pp. 23-28. Editorial Universitaria, Santiago.
- Avery, T., Burkhart, H. (1994).** *Forest Measurements*. Editorial McGraw-Hill. Estados Unidos. 408 p.
- Ballhary, C. (1984).** Estudio de la estructura y composición de renovales de Canelo (*Drimys winteri* (Forst)) en el fundo Llenca (Décima región). Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.
- Barkham, J.P. (1978).** Pedunculate oak woodland in a severe environment: Black Tor Copse, Dartmoor. *Journal of Ecology* (66): 707-740.
- Calquín, R. (1986).** Indices y clases de sitio para canelo (*Drimys winteri* (Forst.)) en la X Región. Tesis Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. 125 p.

Castedo, F., Creciente, F., Álvarez, P., Barrio, M. (2009). Development of a stand density Management diagram for radiata pine stand including assessment of stand stability. *Oxford journal life sciences Forestry* 82 (1): 1-16.

Cerda, J. (1990). Modelos de distribución diamétrica en rodales de Canelo (*Drimys winteri* (Forst.)) Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.

Christensen N., Peet, R. (1981). "Secondary forest succession on the north Carolina Piedmont". In: Forest sucesion, concepts and application, D. C. West. Edts. H. Shugart, and D. B. Botkin. Springer-Verlag. New York, USA. p. 230-244.

CONAF, CONAMA, Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Temuco. (1997). Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Nacional sin Variables Ambientales. 88 p.

Corvalán, P. (1987). "El Canelo: una alternativa de desarrollo para la Décima Región". Proyecto. Santiago, Ministerio de Agricultura, Universidad de Chile, vol. 1.

Curtis, R. (1970). Stand density measures: An interpretation. *Forest Science* 16:403-414.

Curtis, R.O. (1971). A tree area power function and related stand density measures for Douglas-fir. *Forest Science* 17:146-159.

Daniels, P., Helms, U. y Baker, F. (1982). Principios de Silvicultura. Segunda Edición. Mc Graw-Hill. México.492 p.

Dean, T.J., Jokela, E.J. (1992). A density-management diagram for slash pine plantations in the lower coastal plain. *South. J. Appl. For.* 16:178-185.

Dean, T., Baldwin, C. (1993). Using a density management diagram to Developer thinning schedules for Lobolly Pine plantations. Forest service United states Departament of Agriculture. 10 p.

Di Castri, F., Hajek, ER. (1976). Bioclimatología de Chile. Santiago, Chile. Imprenta-Editorial de la Universidad Católica de Chile. 129 p.

Donoso, C., Escobar, B., Cortes, M., Donoso, P. (1985). Regeneración en bosques de la Cordillera de la Costa. V. Parte. 1. Evaluación de 3 años de producción de semillas y hojarasca en bosques no intervenidos y de 2 años en rodales no intervenidos del tipo forestal siempreverde. 2. Evaluación de 3 años de producción de semillas y hojarasca en bosques no intervenidos del tipo forestal alerce. Informe de Convenio N° 86, CONAF/UACH, 216 pp

Donoso, P., Soto, D., Bertín, R. (2007). Size- density relationships in *Drimys winteri* secondary forest of the Chiloe Island, Chile: Effects of physiography and species composition. *Forest ecology and management* 239(2007): 120-127.

Donoso, C. (1993). Ecología forestal. Bosques templados de chile y argentina, variación, estructura y dinámica. Editorial universitaria, Santiago.

Donoso, C. (1981). Tipos forestales de los Bosques Nativos de Chile. Investigación y desarrollo forestal (CONAF/ PNUD/FAO). Santiago, Chile. Publicación FAO, Documento de Trabajo N° 38. 83 p.

Drew, J., Flewelling, J. (1977). Some recient Japanese theories of yield-density relationships and their application to monterey pine plantations. *Forest Science* 23:517-534.

Drew, J., Flewelling, J. (1979). Stand density management: a alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Science* 25(3): 518-532.

Farden, C. (1996). Stand density management diagrams for Lodgepole pine, White spruce and interior Douglas fir. Canadian Forest service. Information report BC-X-360. 41p.

Farden, C. (2002). Recommendations for constructing stand density Management diagrams for The Province of Alberta. Alberta land and forest division, Ministry of sustainable resource development. 17 p.

Flewelling, J. W. and Drew T.J. (1985). A stand density management diagram for lodgepole pine. In: Baumgarter, D.M., Krebill, R.G., Arnott, J.T., Weetman, G.F. (Editors) Lodgepole pine: The species and its management. Washington State University. Pullman, WA. p 239-244.

Flewelling, J. W., Wiley, K. N., and T.J. Drew. (1980). Stand density management in western hemlock. Weyerhaeuser Corporation. Western Forestry Research Center, Centralia WA, Forestry Research Technical Report No (042-1417/80/32).

Gezan, S., Ortega, A., Andenmatten, E. (2007). Diagramas de manejo de la densidad para renovales de Roble, Raulí y Coigüe en Chile. Revista Bosque 28(2):97-105.

Gingrich, S. (1967). Measuring and evaluating stocking and stand density in Upland Hardwoods Forest Science 13 (1): 38-54.

INFOR (Instituto Forestal). (2004). Estudio de mercado para madera de Canelo en Estados Unidos y Europa. Informe técnico N° 167. INFOR/ CORFO. Santiago, Chile.

Jack, S., Long, J.(1996). Linkages between silviculture and ecology: An analysis of density management diagrams. *Forest ecology and management* 86:205-220.

Kumar, M., Long, J., Kumar, P. (1995). A density management diagram for teak plantations of Kerala in Peninsular India. *Forest Ecology and Management* 74: 125-131.

Liliehalm R., Long, J., Patla, S. (1994). Assesment of goshawk nest area habitat using stand density index. *Stud. Avian Biol.* (16):18-23.

Lloyd, F., Harms, W. (1986). An individual stand growth model for mean plant size based on the rule of self-thinning. *Annals of Botany* 57: 681-688.

Long, JN. (1985) . A practical approach to density management. *For Chron* 61: 23-27

Long, JN, Shaw, JD. (2005). A density management diagram for even-aged ponderosa pine stands. *West. Journal of Applied Forestry* 20 (4):205–215.

Long, JN. and Smith, FW. (1984). Relation between size and density in developing stands: A description and possible mechanisms. *Forest Ecology and Management* 7:191-206.

Malmberg, C., Smith, H. (1982). Relationship between plant weight and density in mixed population of *Medicago sativa* and *Trofolium platense*". *Oikos* (38):365-368.

McCarter, J. B. and Long, J. N. (1986). A lodgepole pine density management diagram. *Western Journal of Applied Forestry* 1:6-11.

Navarro, C., Donoso, C., Sandoval, V. (1999). Los renovales de *D. winteri*. En: Donoso C, Lara A. *Silvicultura de los bosques nativos de Chile*. Santiago, Chile . Editorial Universitaria. p. 341-377.

Navarro, C. (1993). Estudio de raleo renovales de Canelo, sector Hueicolla, Cordillera de la Costa de Valdivia. Instalación y evaluación del ensayo. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.

- Navarro, C., Donoso, C., Sandoval, V. y González, C.. (1997).** Evaluación de raleos en renovales de Canelo (*Drimys winteri* (Forst)) en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile .*Bosque* 18(2): 51-67.
- Newton, P.F., Weeman, G.F. (1994).** Stand density management diagram for managed black spruce stand. *Forestry Chronicle* 70: 65-74.
- Newton, P. (1997).** Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. *Forest ecology and management* 98: 251- 265.
- Niebuhr, S. (1988).** Determinación de una función de rendimiento para renovales de Canelo (*Drimys winteri* (forst)) en la Décima Región. Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile.
- Nyland, R. (2002)** . *Silviculture. Concepts and Applications*. New York, USA. McGraw-Hill Companies. 633 p.
- Penner, M., Swift, E., Gagnon, R., Knox, J. (2002).** A stand density management diagram for balsam fir in New Brunswick. Fundy model forestry. Atlantic Forestry Service. *Canadian Forest Service*. 9 p.
- Perry, D. (1994).** *Forest Ecosystems*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Pitelka, L. (1984).** Application of the $-1/2$ power law to clonal herbs. *American Naturalist*. (123):442-449.
- Reineke, L. (1933).** Perfecting a stand density index for even-age forest. *Journal of Agricultural Research* 46:627-638.
- Salomon, D., Zhang, L. (2002)** . Maximum size-density relationships for mixed softwoods in the northeastern USA. *Forest ecology and management* 155(2002): 163-170.

- Sánchez, C. (1986).** Estructura y desarrollo de renovales puros y no intervenidos de *D. winteri* (*Drimys winteri* J. et G. Forst) en la Isla de Chiloé. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias forestales, Universidad Austral de Chile. 110 p.
- Saunders, M., Puettmann, K. (2000).** A preliminary White Spruce density management diagram for the lake states. *Minnesota. Staff papers series N° 145.* 15 p.
- Schexnayder, P., Dean, T. and Baldwin, V. (2001).** Diameter growth of a slash pine spacing study five years after being thinned to a constant stand density index. Outcalt, Kenneth W., ed. 2001. Proceedings of the Eleventh biennial southern silvicultural research conference. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern
- Schlatter, J., Gerding, V. (1995).** Método de clasificación de sitios para la producción forestal, ejemplo en Chile. *Bosque 16 (2): 13-20.*
- Shaw, J., Long, J. (2007).** Density management diagram for Longleaf Pine stands with application to Red-Cockaded Woodpecker habitat. *South. Journal of Applied Forestry 31(1): 28-38.*
- Smith, N., Hann, D. (1984).** A new analytical model based on the $-3/2$ power rule of self-thinning. *Journal of Forest Research 14:605-609.*
- Smith, N., Hann, D. (1986).** A growth model based on the self-thinning rule. *Journal of Forest Research 16:330-334.*
- Smith, N., Long, J. (1987).** Elk hiding and thermal cover guidelines in the context to lodgepole pine stand density. *Western Journal Appl. Forest (2): 6-10.*
- Smith, N. (1989).** A stand density control diagram for western red cedar (*Thuja plicata*). *For. Ecol. Management (27): 235-244.*

- Smith, D. J. and Woods, M. E. (1997).** Red pine and white pine density management diagrams for Ontario. Ontario Min. Nat. Res., Southcentral Sciences Section.31 p.
- Somers, G., Farrar, R. (1991).** Biomatematical growth equations for natural longleaf pine stands. *Forest Science* 37(1)227-244
- Swift, E. (2003).** Development of stand density management diagrams for eastern spruce–balsam fir forest on the Acadian forest region: Progress report for 2002-2003. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service. 19 p.
- Tadaki, Y., Shidei, T. (1959).** Studies on the competition of forest trees. II. The thinning experiment on small model stand of sugi (*Cryptomeria japonica*). *Japanese Forest Society* 41:31–349.
- Vacchianno, G., Motta, R., Long, J., Shaw, J. (2008).** A density management diagram for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.): A tool for assessing the forest's protective effect. *Forest ecology and management* 10871:1-13.
- Valbuena, P., Peso, C., Bravo, F. (2008).** Stand density Management diagrams for two mediterranean pine species in Eastern Spain. Investigación agraria: *Sistemas y recursos forestales* 17(2): 97-104.
- Venegas, J. (1999).** Estudio de La Ley de $-3/2$ c de Auto-Raleo en Renovales de *Drimys winteri* Forst. en la X Región". Tesis de Grado Ingeniería Forestal. Temuco, Chile. Facultad de recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco. 65 p.
- Weller, D. (1987).** A reevaluation of the $-3/2$ power rule of plant self-thinning. *Ecological Monographs* 57(1): 23-43.
- Westoby, M. (1984).** The self-thinning rule. *Advances in Ecological Research* (14):149-158.

Woods, M., Kaminski, D., Pinto, F., Kurtz, P. (1998). Ontario Density Management Diagrams – ODMD (Beta Version). Ontario Ministry of Natural Resources

Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H., Hozumi, K. (1963). Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants XI). *Journal of biology* 14:107–129.

Zhang, L., Bi, H., Gove, J., Heath, L. (2005). A comparasion of alternative methods for estimating the self-thinning boundary line. *Canadian journal of forest research* 35: 1507-1514.

Zunino, C. (1996). Análisis de la teoría de auto-raleo en plantaciones de Pino Insigne (*Pinus radiata* D. Don). Tesis Licenciado Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Santiago

DISCUSIÓN GENERAL

CAPÍTULO 6

6. DISCUSIÓN GENERAL.

El concepto de sustentabilidad en el manejo de los recursos forestales ha evolucionado durante el siglo anterior, desde una visión aplicada a la capacidad de producir en cantidad y calidad similar ciertos bienes o recursos en sucesivas generaciones; visión similar a lo que se conoce como rendimiento sostenido, hasta la visión actual de sustentabilidad forestal que se entiende como “*el mantenimiento en el tiempo del potencial biológico y físico de los ecosistemas forestales y acuáticos asociados para producir la misma cantidad, calidad un amplio espectro de bienes y servicios*” (Arroyo *et al.* 1998). Esta concepción tiene dos énfasis: uno ecológico, en el sentido de mantener la integridad funcional de ecosistemas, y uno ético, en el sentido de que nuestra intervención destinada a obtener bienes y servicios para la población humana nos hace responsables por la subsistencia de los sistemas ecológicos manipulados. En este contexto, la ordenación forestal como herramienta de gestión contribuye a avanzar hacia la etapa de sustentabilidad forestal, entendiendo este concepto como el proceso de planificación y organización de la gestión forestal y de la economía de los recursos forestales, vale decir de la toma decisiones relativas al futuro de los bosques en función de los objetivos a alcanzar, las necesidades que se espera satisfacer y los métodos utilizados en su puesta en práctica (Cabello, 2002). Sin embargo, para ello es fundamental contar con una política forestal explícita y una institucionalidad que garantice la puesta en práctica del manejo forestal sustentable, donde la comunidad científica y profesional debe contribuir a este fin con la generación de conocimiento, el desarrollo de tecnologías y de servicios, y a la formación de personas.

En por ello, que en esta tesis doctoral se han estudiado aspectos silviculturales y de gestión en bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* en el sur de Chile, de manera de contribuir para que éstos se transformen en un agente de desarrollo económico local, sin que ello signifique dejar que cumplan su función de servicios planetario.

D. winteri es una especie forestal nativa del bosque chileno, que tiene una amplia distribución natural desde el río Limarí por el norte y el Cabo de Hornos hacia el sur, con una extensión de 2.500 kilómetros. Este árbol, perteneciente a la familia *Winteraceae* alcanza sus mejores crecimientos en las provincias de Llanquihue y Chiloé, formando bosques puros de segundo crecimiento conocidos como renovales, definidos legalmente como el subtipo forestal renovales de canelo, del Tipo Forestal Siempreverde (Donoso, 1981). Estos tienen excelentes crecimientos y regeneran fácilmente en forma natural, alcanzando la importante superficie de 264.000 ha en Chile (INFOR, 2004). A pesar de ello, no existe una oferta de madera de calidad que permita aprovechar las oportunidades de los mercados, debido por un lado a la carencia de esquemas silvícolas comprobados para manejar los bosques y por otro, a la falta de articulación y gestión de los productores de madera de esta especie, y fundamentalmente la falta de políticas y a la débil institucionalidad para el desarrollo forestal de los bosques nativos en Chile.

D. winteri como recurso forestal para uso industrial, ha sido estudiado por muchos años. Estudios realizados por Chesney (1970), demostraron la aptitud papelera de esta especie, que posee una fibra más larga que la de *P. radiata*. Por su parte Urzúa y Poblete (1980), determinaron que la especie posee características favorables para la fabricación de tableros de partículas, al igual que algunos *Nothofagus* autóctonos. Otro uso importante se refiere a la utilización de su madera en la construcción, característica común y ampliamente difundida en la zona de Chiloé. Es una madera que también se utiliza en una variedad de artesanías incluyendo la fabricación de instrumentos musicales y mueblería (Hoffman, 1982). En la actualidad, el canelo es una especie que no ha expresado su real potencial económico. No obstante su abundancia, sigue siendo utilizada preferentemente para la producción de madera aserrada la que tiende a ser consumida en el mercado chileno. La producción de madera aserrada en el año 2000 llegó solo a los 8.500 m³, la cosecha de madera en trozas alcanzó una cifra de 20.616 m³, siendo procesados en aserraderos móviles principalmente (INFOR, 2004). No obstante lo anterior, un estudio de mercado desarrollado por el INFOR (2002) determinó que la

madera de *D. winteri* puede ser utilizada principalmente en muebles y molduras especiales, aprovechando sus buenas características estéticas, precios, y perfectamente puede ser distribuida en forma competitiva en el mercado internacional, quizás con más facilidad en Estados Unidos de Norteamérica que en Europa. Estos bosques de segundo crecimiento de *D. winteri*, se originan frecuentemente al colonizar áreas de bosques talados, después de incendios o terrenos de praderas y agrícolas abandonados donde predomina en el suelo una alta humedad. Se caracterizan por la dominancia de canelo en su estructura, con una cobertura en área basal y densidad superior o igual al 60% del total, predominando en su mayor parte un desarrollo juvenil. La habilidad reproductiva de la especie produce inicialmente un renoval de monte alto, posteriormente con el transcurso del tiempo se producen brotes de las yemas adventicias, originando un renoval típico de canelo. En el piso del bosque no se encuentra prácticamente regeneración de *D. winteri*, debido a que el renoval en sí corresponde a un estado avanzado de la misma. El rango de edades más frecuentes de encontrar es de 20 a 40 años, pudiendo considerar hasta 80 años la etapa de renoval, dependiendo de las características del sitio. Los rangos de diámetros medios más frecuentes son de 8 y 15 cm; y las densidades fluctúan entre 2.500 y 20.000 árboles por hectárea, con productividades medias que varían entre 8 y 15 m³/ha/año (Navarro *et al.* 1997).

Las características dasométricas de los renovales varían con el sitio, el tipo o asociación vegetal del que forman parte y el estado de desarrollo. Al respecto, el estudio desarrollado por Calquín (1986) para una zona acotada de su distribución, definió seis clases de sitio a una edad cercana a la rotación (35 años), encontrándose que la clase inferior se ubica en el continente, mientras que la clase superior se encuentra preferentemente en la zona insular. Sin embargo, en ambas zonas es posible encontrar todas las clases de sitio, siendo más frecuentes las clases de productividad media, tres y cuatro, en el continente. En el anterior estudio se determinó que de las variables analizadas, aquellas que explican las diferencias de sitio son: el drenaje, la exposición y pendiente local; presentando los sectores de *ñadis* el índice de sitio más bajo, debido a los suelos más delgados, planos y

constantemente anegados; y los índices de sitio más altos se asocian a suelos tipo trumao, profundos y bien drenados. Esto demuestra la plasticidad de la especie y la necesidad de diferenciar su uso, objetivos de producción y tecnologías silvícolas. En este sentido, estudios comparativos de valores de crecimiento diametral indican diferencias significativas entre los principales sitios chilenos donde en la actualidad se encuentran ubicados los bosques de *D. winteri*, lo que indica la necesidad de intervenir cada bosque diferencialmente para reflejar las características típicas de cada sitio (INFOR, 2004).

Respecto al manejo de estos bosques Navarro *et al.* (1997) y Reyes *et al.* (2009), evaluaron ensayos de intensidad de raleos mixtos o por lo bajo grado C y D según Nyland (2002), en renovales de *D. winteri* de 30 años de edad. Después de 4, 10 y 16 años de realizadas las intervenciones, se observaron grandes diferencias en los tratamientos, debido principalmente a la mortalidad generada por el efecto del viento. A igual intensidad de raleo, la respuesta de los renovales fue muy distinta entre los distintos sitios dependiendo de aspectos como composición del bosque residual, exposición al viento y características del enraizamiento. Reyes *et al.* (2009) señalan que los resultados indican que lo más recomendable es trabajar con densidades residuales entre 25-45% de densidad relativa, lo cual equivale a distanciamientos medios de 2 a 3 metros para el primer raleo, dependiendo de la vulnerabilidad de los bosques con respecto al viento, lo cual coincide con lo planteado por Navarro *et al.* (1997).

El desarrollo y uso de herramientas de gestión silvícola, como los diagramas de manejo de la densidad, mapas de sitios, delimitación de áreas potenciales de uso, programas de evaluación económico-financiera de la silvicultura y bases digitales con la sistematización de los aspectos silviculturales; son sin duda, tareas pendientes, de ellas este estudio realiza un aporte para los bosques de *D. winteri*.

En la segunda línea de investigación se realizó la caracterización espacial de los bosques de segundo crecimiento de *D. winteri* para su área de distribución, con el objetivo de determinar de manera exploratoria, áreas potenciales de gestión

silvícola. Destaca su amplia distribución latitudinal de 700 kilómetros, su presencia principalmente en la Cordillera de la Costa y Depresión Intermedia, demostrando así, su plasticidad para desarrollarse en condiciones microclimáticas, fisiográficas y de sitio diversa, lo cual evidencia variados usos potenciales para estos bosques.

Se ubican en climas templados y específicamente templados oceánicos, con altas precipitaciones, en terrenos preferentemente planos, de pendientes menores a 15% y altitudes bajo los 200 m.s.n.m; lo cual sugiere que estos factores no explicarían las diferencias de productividad para la especie. Al respecto, según Calquín (1986) los mejores sitios para la especie se ubican en Chiloé, territorio que presenta mayores niveles de precipitación, temperaturas más templadas y una oscilación térmica anual baja cercana a 6°. Este estudio determinó un área de la Costa de Osorno con los mayores índices de sitio, similares a Chiloé, destacando en general que el 1% de la superficie corresponden a sitios de alta productividad, el 39% a sitios de productividad media, el 25% presenta una productividad baja y el 36% corresponde a sitios de productividad muy baja. Los sitios de menor calidad se ubican en los extremos de sus distribución, Palena y Cautín, lo que podría explicarse en la Araucanía, por una mayor oscilación térmica por la lejanía del mar y menores precipitaciones; y en Palena por las temperaturas extremas, incluso presencia de nieve y la mejor permeabilidad de los suelos, lo que impide que exista humedad permanente.

Los suelos donde se desarrollan son variados pero siempre con humedad permanente, destacando la presencia de sedimentarios en la Depresión Intermedia, Metamórficos en la Cordillera de la Costa y Chiloé, y suelos graníticos y de origen volcánico en la Cordillera de los Andes (Donoso, 1999). Basado en los estudios de Calquín (1986) y Ballharry (1984), los factores que explican la productividad en los bosques de *D. winteri* son el drenaje, la exposición local y pendiente local, señalando además que, en sectores con adecuados regímenes de humedad y efecto moderado del viento, se produce una menor tasa de transpiración y corresponden a los sectores de mayor productividad. De los factores analizados el drenaje es el factor de mayor importancia, destacando su presencia principalmente

en suelos de drenaje imperfecto y de mal de drenaje. El estudio determinó que la mitad de los bosques de *D. winteri* se ubican en terrenos de drenaje imperfecto, un tercio en drenaje pobre a muy pobre y casi un tercio en suelos de buen drenaje.

Los bosques de *D. winteri* presentan niveles de desarrollo juvenil, destacando los estados de monte bravo, latizal y fustal delgado; este último con menor presencia; y las coberturas densas y semidensas, predominado las alturas entre 4 a 12 metros. Estas condiciones indican la menor presión de uso de este recurso y la oportunidad de aplicar cortas intermedias como cortas de limpieza, cortas de liberación y raleos (*claras*), como lo indica INFOR (2008). Para ello, es relevante la integración del sitio, estado de desarrollo, clase de altura y cobertura, lo que permite en el marco de la ordenación forestal, definir unidades de gestión silvícola y asociarle una tecnologías silvicultural para objetivos de producción precisos. Como indican Acuña y Drake (2003) su asignación va a depender de aspectos comerciales, del estado del bosque y de la capacidad del propietario para movilizar recursos. El estudio determinó 48 unidades de gestión silvícola, que fueron reducidas a 11 y caracterizadas mediante indicadores de sitio, de homogeneidad de rodales, de parámetros dasométricos y estados de desarrollo; lo cual permitió asignarle sobre esta base, un objetivo de producción principal. Al respecto, este estudio determinó , que existen 90.000 hectáreas potenciales para la producción de madera de alta calidad, 60.000 hectáreas para la producción de tableros o energía y 90.000 hectáreas para bosques de preservación.

Para efectos de la planificación y monitoreo de bosques, se propone incorporar índices de tipo silvicultural y económico-financiero que simplifique la toma de decisiones y al mismo tiempo permita interpretar adecuadamente la complejidad de este recurso. Se proponen incluir de los de tipo silvicultural: el índice de diversidad de Shannon Wiener para que sea incorporado como restricción en el diseño silvicultural: un segundo índice de Curtis (1971) permite interpretar los niveles de uso de la capacidad de carga del sitio, los niveles de competencia y los estados de desarrollo, el índice de sitio de Calquín (1986) y finalmente el índice de De Camino (1976) que permite determinar niveles de homogeneidad de bosques. De los índices

económico-financiero destacamos el volumen de productos según la Norma Chilena, la tasa de aumento del valor del árbol de área basal media, la tasa de aumento de valor del bosque, el valor neto presente y la tasa interna de retorno. Se ha determinado que los bosques de *D. winteri* presentan bajos niveles de diversidad, alta homogeneidad, niveles de sobreutilización del sitio, altos niveles de competencia para los estados de desarrollo de monte bravo y latizal; crecen a una tasa de 3% de aumento de valor del bosque sin manejo para los sitios de productividad media y presentan un VAN de 641 US\$/ha a los 50 años.

Los bosques de segundo crecimiento y las plantaciones deberán satisfacer el 70% de la demanda creciente mundial de madera para los usos tradicionales para el año 2030 (FAO, 2009). Para ello la ordenación forestal como herramienta contribuye al manejo forestal sustentable y requiere información confiable sobre rendimiento de productos y respuestas de los bosques sometidos a diferentes esquemas de manejo en un marco de manejo forestal sustentable. En este contexto, el tercer estudio realizado evalúa para una zona de productividad media, un ensayo de raleo (*clara*) después de 21 años de aplicación de las intervenciones, que corresponde al de mayor data documentado para la especie y que es representativo de una condición de 50 mil ha de este recurso. Se aplicaron en bosques de 30 años en estado latizal, raleos fuertes y moderados por lo bajo o grado C y D según (Nyland, 2002), que operacionalmente corresponden a espaciamientos de 4, 3 los primeros y 2 metros los segundos, un raleo de liberación (RL) similar en intensidad al de 4 metros y un tratamiento control; el tratamiento a 2 metros fue intervenido nuevamente después de 10 años a un espaciamiento de 3 metros.

Los resultados de las respuestas de los tratamientos justifican la aplicación de raleos tardíos en renovales de *D. winteri*, materializado en los tamaños y rendimientos significativamente superiores respecto del tratamiento testigo. El tratamiento de raleo de intensidad intermedia de extracción experimentó los mejores resultados, con los mayores rendimientos de productos y mayores dimensiones de los árboles en términos de diámetro.

Los tratamientos de mayor intensidad (4, 3 y RL) experimentaron mayores tasas de crecimiento diametral a nivel de árbol, permitiendo que los árboles meta expresen su potencial de crecimiento, con cifras cuatro veces superiores al testigo transcurridos 4 años de la intervención. Los tratamientos de raleo a 2 m y testigo presentan un estado mínimo de crecimiento para el mismo tipo de árbol, lo que indica que el raleo moderado es muy ligero para el potencial de la especie; lo que debido a una excesiva densidad y competencia que no les deja desarrollar una copa amplia y alcanzar una mayor superficie fotosintetizadora, la que determina una menor velocidad de crecimiento diametral (Vera,1985; Nyland, 2007; Pretzsch, 2009). Después de 21 años los tratamientos de menor intensidad presentan un mayor porcentaje de árboles en las menores clases de crecimiento, muy similar a los árboles testigos de las mismas características; el R4m y R3m presentan crecimientos superiores. Esto se explica por el área de copas de los árboles meta, que alcanzan en el tratamiento de mayor intensidad (4 m) un área 2,6 veces respecto del testigo; mientras que el tratamiento a 2 m y testigo presentan áreas de copas similares, con valores de 5,5 y 4,6 m²/árbol; mientras que el raleo a 3 m es de 1,3 veces el área de copa del testigo. Los resultados no justifican una intervención tan severa como el R4m para alcanzar el máximo potencial de crecimiento diametral de la especie para el período analizado, éste se logra con el R3m en el período de 21 años evaluado. Lo cual se expresa con el IDR de 0,43 que alcanza este tratamiento después de 21 años, ubicándose en una zona de inminente mortalidad por competencia, pero durante el período de 21 años el rodal se ubicó entre la línea de cierre de copas y la línea inferior de ocupación de sitio, con cifras de 0,22 a 0,43 % de IDR. Mientras que el R4m se ubicó en una zona de crecimiento libre post-raleo, con un 13% de IDR el año 90 y de 0,32 el año 2007, lo que lo explica el tamaño de la copa alcanzado; ya que como lo plantea Pretzsch (2007), después de 2 a 3 años de realizado el raleo las copas alcanzan crecimientos máximos, período en el cual el R4m se ubicó en la zona de crecimiento libre. La relación intensidad de raleo presenta una relación directa con el aumento del precio a nivel del árbol y con la homogeneidad del rodal e inversa con la diversidad. Una mayor intensidad del raleo significó un incremento de precio a

nivel de bosques, hasta una intensidad intermedia correspondiente al R3m. En el R4m esta cifra disminuye; permitiendo recomendar el tratamiento R2-3 m que reduce el riesgo de caída de árboles por viento. Esto implica dejar en promedio 2.500 árb/ha en el primer raleo y luego de 10 años realizar una segunda intervención dejando 1.100 árb/ha, siendo recomendable mantener niveles de IDR en el primer raleo no inferiores a 40% y a partir del segundo raleo 30%. Esto concuerda con lo planteado por Peri *et al.* (2008) y Cameron (2002) quienes recomiendan raleos sucesivos para mantener la estabilidad del rodal.

El cuarto capítulo realiza un estudio de rentabilidad de ensayos de raleo (*claras*) de bosques de segundo crecimiento de *D. winteri*, para un sitio de productividad media y un estado de desarrollo de latizal, representativo de una superficie de 50.000 hectáreas aproximadamente, equivalentes al 20% de la población de bosques de segundo crecimiento de *D. winteri*. Se evaluaron cuatro tratamientos de raleo por lo bajo grado C y D según Nyland (2002), denominados raleo moderado, raleo fuerte, raleo severo y un tratamiento control correspondientes a cuatro intensidades de intervención. La rentabilidad se determinó a través del Valor Actual Neto (VAN), Valor Económico del Suelo (VES), Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRm), incorporando tasas de descuento de 6%, 8% y 10%; y costos de administración bajo dos escenarios; sin costo antes de las intervenciones (S1) y con costo desde el establecimiento del rodal (S2).

La rentabilidad de los tratamientos evaluados fue positiva en el escenario en el cual el propietario no asume costos de administración antes de la intervención. Lo cual Soutter (2000) lo explica por no existir costos de formación, ya que éstos ya están formados en el momento que se intervienen. Esta situación es extrapolable a importantes superficies de bosques nativos de Chile, que significa desde el punto de vista de evaluación económica-financiera, que el año cero se obtengan ingresos. En el escenario (2) sin embargo, los costos de administración incorporados generan rentabilidades negativas para los supuestos planteados.

Los resultados para el VAN y VPS en S2 fueron negativos, a diferencia del S1 que duplicó al menos su rentabilidad respecto de no intervenir estos bosques secundarios. Esto se produce aún cuando, recién los tratamientos comienzan a generar productos de mayor precio, como trozas para la industria de chapas; que al aumentar éstas su participación, los indicadores de rentabilidad bajo el supuesto S1 serán mayores.

Al comparar las cifras de rentabilidad entre tratamientos de raleo las diferencias son menores, lo que implica seleccionar o recomendar el tratamiento de raleo moderado, que reduce el riesgo de caída por viento y disminuye el costo de inversión inicial, generando un VAN de US\$ 2.546, un VPS de US\$ 3.524 y una TIR_m de 20 % para una tasa de descuento de 6 %. Al comparar el testigo con los tratamientos de raleo a la tasa de un 6 %, el VAN fue al menos el doble con intervenciones; y a una tasa de 12 % esta cifra subió al menos seis veces. La TIR_m para la condición sin raleo alcanzó cifras de 13 a 12 %. Estos resultados son comparables a los obtenidos por Hernández (1996) quien determinó para bosques de segundo crecimiento de *D. winteri*, orientados para la producción de trozas de calidad un VAN de 1972 US\$/ha para una tasa de descuento de 8%, con una TIR aproximada de 15%; considerando tres raleos y una edad de cosecha de 45 años.

En el segundo escenario (S2), en el cual el propietario asigna costos de administración desde el momento en que se establece el bosque secundario, los indicadores de rentabilidad mostraron que al realizar la corta final a los 52 años no existió ningún tratamiento que haya obtenido un VAN y VPS positivo para las tasas de descuento analizadas. Los resultados de la TIR_m variaron de 4 a 8 %, para los tratamientos testigos y raleo fuerte (E3), respectivamente, cifras bastante inferiores al testigo del S1, que presentó una TIR_m de 12 a 14 %. Los mejores tratamientos en este escenario correspondieron a los raleos fuerte (E2 y E3) con un 8 % de TIR_m.

En estudios realizados en *Eucalyptus globulus* Labill (Guerra *et al.* 2005), determinaron cifras inferiores a las obtenidas en esta investigación, lo cual muestra

el potencial de estos bosques. Ello se explica que en el caso de este bosque secundario se considera un período de evaluación de 22 años, de los 30 a los 52 años de edad, y en el año cero no se considera costos de formación y sí ingresos por raleo, lo que produce indicadores de rentabilidad superiores. Este estudio, es relevante desde el punto de vista de opciones para productores, ya que en la zona existe presión por establecer plantaciones de *Eucalyptus nitens*, realizando obras de drenaje de alto impacto, en condiciones que bosques nativos de especies como *D. winteri* producen naturalmente mayores rentabilidades.

Finalmente es importante destacar que el alto nivel de competencia de estos bosques expresado por su mortalidad natural, requiere de intervenciones de raleo, tanto para la maximización del volumen como del valor neto presente.

El capítulo 5, desarrolla un diagrama de manejo de densidad para bosque de segundo crecimiento de *D. winteri* y realiza aplicaciones de raleo. Estos son modelos gráficos de la dinámica de rodales uniformes a diferentes edades que reflejan la relación entre tamaño, densidad, competencia, ocupación del sitio y autorraleo; y permiten la planificación de raleos mediante la definición de un rodal meta y los límites superior e inferior de ocupación del sitio. El diagrama desarrollado corresponde según Farnden (2002) a uno de segundo nivel de complejidad, que contiene la relación de máximo tamaño densidad, las relaciones que definen las zonas de autorraleo, de ocupación completa del sitio, de subocupación de sitio y finalmente la zona de crecimiento libre, y su nivel dos de complejidad está dado por incorporar o agregar a estas relaciones un sistema de isolíneas que representan la altura dominante y volumen.

La utilidad de incorporar las isolíneas de altura y volumen permite tener una estimación del estado cuantitativo del rodal. La isolínea de la altura permite realizar una mejor proyección de las intervenciones propuestas, al combinar los diagramas con funciones de altura dominante/edad es factible estimar la edad de los rodales y por lo tanto el tiempo que tomará llegar a un estado de desarrollo para los esquemas de manejo proyectados, tal y como lo plantean Vacchiano *et al.* (2008) y

Castedo *et al.* (2009). Además durante el ejercicio de proyección de los rodales, permiten diferenciar tipos de raleos, si la trayectoria del raleo se traza paralela a las isolíneas de altura, manteniendo la altura media dominante constante, simula un raleo por lo bajo ya que en esta intervención se eliminan aquellas clases de copas que están suprimidas, moribundas o cuya posición es intermedia a baja (Daniels, *et al.* 1982).

La curva de la relación de tamaño - densidad ajustada, representa el promedio de las situaciones de los rodales, aun cuando esta relación teóricamente es independiente de las condiciones de sitio (Drew y flewelling, 1979; Newton, 1997; Saunders y Puettmann, 2000; Shaw y Long, 2007). Al respecto, Donoso *et al.* (2007) probaron que para *D. winteri* las condiciones fisiográficas y composición de especies afectan solo parcialmente estas relaciones, sugiriendo que los cambios que ocurren según variaciones de sitio se relacionan fundamentalmente con diferencias en las especies acompañantes en estos bosques secundarios dominados por *D. winteri*. Este es un tema en el cual se debería profundizar debido a las implicaciones potenciales al momento de evaluar esquemas de manejo y de control del crecimiento de los rodales. Esto sugiere ampliar la capacidad del diagrama mediante la introducción de los ejes adicionales, como la composición de especies y posiblemente calidad de sitio, como lo plantea Farden (2002).

El diagrama de manejo de la densidad desarrollado para renovales de *D. winteri*, permite evaluar regímenes de raleos orientados a la producción de madera de mayor precio en Chile. El uso del DMC en la ordenada y la densidad en la abscisa permite a los silvicultores y potenciales usuarios visualizar con mayor facilidad la relación entre la densidad relativa y el tamaño medio de los árboles a través del DMC en vez del volumen medio, tal y como lo plantean Farden (2002) y Long y Shaw (2005).

En relación a la función tamaño–densidad, se utilizó la ecuación propuesta por Jack y Long (1996) que considera el logaritmo natural del DMC como la variable del tamaño medio en función del logaritmo natural de la densidad. Los parámetros

obtenidos en el ajuste de la función son $b_1=6,6218$ y $b_2=0,4631$, éstos son comparables a los resultados obtenidos por Venegas (1999) para la misma especie donde $b_1=6,721$ y $b_2=0,4954$. Por su parte Donoso *et al.* (2007) también ajustaron relaciones tamaño densidad en *D. winteri*, sin embargo los resultados obtenidos no son comparables con este estudio, ya que se utilizó el formato propuesto por Reineke (1933) donde el logaritmo natural de la densidad está en función del logaritmo natural del DMC.

Los resultados de las funciones que conforman el DMD presentan aceptables capacidades predictivas, constatando la utilidad y precisión de esta herramienta para planificar intervenciones silvícolas. Los resultados de la aplicación del DMD sugieren mantener niveles de ocupación de sitio entre las zonas de subutilización (índice de densidad relativa (IDR) de 30%) y la de inminente mortalidad por competencia (IDR de 45%), realizando al menos tres raleos para alcanzar un rodal meta que produzca productos aserrables y debobinables a una edad no menor a los 80 años para el sitio analizado. Con este esquema se reduce el riesgo de caída de árboles por viento y la pérdida de producción física del sitio.

El diagrama desarrollado, permite evaluar regímenes de raleos orientados a la producción de madera de mayor calidad. El uso del DMC en la ordenada y la densidad en la abscisa permite a los silvicultores y potenciales usuarios visualizar con mayor facilidad la relación entre la densidad relativa y el tamaño medio de los árboles a través del DMC en vez del volumen medio, tal y como lo plantean Farnden (2002) y Long y Shaw (2005).

Al momento de utilizar el diagrama en un rodal de *D. winteri*, los usuarios deben considerar sus limitaciones: a) Las líneas de densidad relativa son sensibles a la composición de especies del rodal (Donoso *et al.* 2007). En este caso la composición de especies fue restringida a rodales con dominancia de *D. winteri*, con al menos un 70% del área basal de esta especie y no se analizó en términos específicos las especies acompañantes y su variabilidad. La dinámica y los regímenes de manejo descritos para la situación promedio que representa el

diagrama no son necesariamente verdaderos u óptimos para cualquier rodal en particular, pero sí útiles; b) Es recomendable en consecuencia considerar funciones de índice de sitio para lograr predicciones de desarrollo del rodal más exactas; c) Los DMD no incorporan la variable calidad del árbol, sin embargo en renovales de canelo dada sus altas densidades y la aptitud genética de la especie de formar fustes bastantes rectos, es admisible usar estos diagramas como herramienta de manejo.

La integración de los cuatro estudios permite sobre la base del capítulo uno que recoge aspectos de autoecología, silvicultura y mercado, plantear un modelo de gestión silvícola que tiene su base en los conceptos de ordenación forestal. El primer estudio de nivel exploratorio define las unidades potenciales de gestión silvícola mediante análisis espacial, incorporando elementos de homogeneidad de rodales y de sitio, que es útil como base para la toma de decisiones a nivel estratégico. El segundo estudio que se desarrolla para una de estas zonas, corresponde a elaborar una propuesta de tecnologías silvícolas para la producción de madera de alta calidad, a partir de la evaluación del ensayo de raleo vigente más antiguo documentado, incorporando el concepto de densidad relativa, ocupación de sitio y niveles de competencia lo que permite extrapolarla a otros sitios. Basado en el ensayo indicado previamente, el tercer estudio realiza la evaluación de la rentabilidad del manejo de éstos para el mercado interno basado en una serie de supuestos de tasas de descuento y del productor, determinando la tecnología o senda de manejo que optimiza volumen total y valor neto presente. El análisis integrado del estudio dos y tres, dimensiona el potencial para el sur de Chile de este recurso incorporando solo la madera, realidad que sin duda se verá favorecida en las próximas décadas con la valoración de los servicios a nivel planetario que cumplen los bosques. El cuarto estudio desarrolla un diagrama de manejo de la densidad para los bosques de *D. winteri* de segundo nivel de complejidad, herramienta ampliamente difundida a nivel mundial, pero no en Chile; que permite dado sus fundamentos teóricos realizar propuestas silviculturales con mayor precisión a las condiciones particulares de sitio y objetivos de producción, ilustrando

finalmente su uso para una condición de las unidades de gestión silvícola definidas en el capítulo dos. Se recomiendan incorporar indicadores silvícolas y de rentabilidad, basados en este estudio, que contribuyen a materializar mediante la ordenación forestal el manejo forestal sustentable.

6.1 Referencias

- Acuña, E., Drake, F. (2003).** Análisis del riesgo en la gestión forestal e inversiones silviculturales: una revisión bibliográfica. *Bosque* 24 (1): 113 – 124.
- Arroyo, (1998).** Criterios e indicadores para la conservación de la biota de los ecosistemas mediterráneos. Departamento de biología, Facultad de Ciencias. Universidad de Chile, Santiago
- Balharry, C. (1984).** Estudio de la estructura y composición de renovales de Canelo (*Drimys winteri* (Forst)) en el fundo Llenca (Décima región). Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.
- Cabello, J. (2002).** Bases conceptuales de la ordenación de bosques. Disponible en www.chilebosquenativo.cl/info_documentos/info_ordenacion_2.htm
- Cameron, A. (2002).** Importance of early selective thinning in the development of long-term stand stability and improved log quality: a review. *Forestry*. 75 (1) 25-35.
- Calquín, R. (1986).** Índices y clases de sitio para Canelo (*Drimys winteri* Forst.) en la Décima región. Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago
- Castedo, F., Creciente, F., Álvarez, P., Barrio, M. (2009).** Development of a stand density Management diagram for radiata pine stand including assessment of stand stability. *Oxford journal life sciences Forestry* 82 (1): 1-16.
- Chesney, L. (1970).** Aptitud papelera del Canelo (*Drimys winteri* Forst.). Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago, 1970.

- Curtis, R. (1971).** Tree Area Power Function and Related and Density Measures for Douglas-Fir. *Forest Science* 17: 146-159.
- De Camino, R. (1976).** Determinación de la Homogeneidad de Rodales. *Revista Bosque* 1 (2): 110-115.
- Daniel P., Helms U y Baker F. (1982).** Principios de Silvicultura. Segunda Edición. Mc Graw-Hill. México.492 p.
- Donoso, C. (1981).** Tipos forestales de los Bosques Nativos de Chile. Investigación y desarrollo forestal (CONAF/ PNUD/FAO). Santiago, Chile. Publicación FAO, Documento de Trabajo N° 38. 83 p.
- Donoso, C. (1999).** Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Santiago, Chile.Editorial Universitaria. 421 p.
- Donoso, P., Soto, D., Bertin, RA. (2007).** Size-density relation-ships in *Drimys winteri* secondary forests of the Chiloe Island, Chile: Effects of physiography and species composition. *Forest Ecology and Management*. In press.
- Drew, J., Flewelling, J. (1979).** Stand density management: a alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Science* 25(3): 518-532.
- FAO (2009).** Situación de los bosques del mundo. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.
- Farnden, C. (2002).** Recommendations for constructing stand density Management diagrams for The Province of Alberta. Alberta land and forest division, Ministry of sustainable resource development. 17 p.
- Guerra, E., Herrera, M., Drake, F. (2007).** Rentabilidad de la fertilización al momento del establecimiento de plantaciones de eucalyptus globulus. *Agrociencia* 41 (7): 797-804.

- Hernández, M., Donoso, C., Romero, M. (1996).** Variación genecológica de dos poblaciones de *Drimys winteri* (FORST.). *Bosque* 17(2): 65-75
- Hoffman, A .(1982).** Flora Silvestre de Chile/ zona austral. Santiago: Ediciones Fundación Claudio Gay. 257 p.
- INFOR (2004).** Estudio de mercado para madera de Canelo en Estados Unidos y Europa. Informe técnico N° 167. INFOR/ CORFO. Santiago, Chile.
- INFOR . (2008).** Manual de Silvicultura en Bosques Nativos Dominados por Raulí, Roble y Coigue para Pequeños y Medianos Productores. **34 p.**
- Jack ,S., Long, J. (1996).** Linkages between silviculture and ecology: An analysis of density managenment diagrams. *Forest ecology and management* 86:205-220.
- Long, J.N., Shaw, J.D. (2005).** A density management diagram for even-aged ponderosa pine stands. *West. Journal of Applied Forestry* 20(4): 205–215
- Navarro, C., Donoso, C., Sandoval, V., González, C. (1997).** Evaluación de raleos en renovales de Canelo (*Drimys winteri* Forst.) en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile. *Bosque* 18(2): 51-67.
- Navarro, C., Herrera, M., Drake, F. (2010).** Evaluación de la rentabilidad del manejo en bosques secundarios de canelo (*Drimys winteri*) en la Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile. *Bosque* 31(3): 209-218.
- Newton, P. (1997).** Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. *Forest ecology and management* 98: 251- 265
- Nyland, R. (2002).** Silviculture Concepts and Applications. Second edition. McGraw-Hill. New York, New York.

- Peri, P., Martínez, G., Vukasovic, R., Díaz, P., Lencinas, M., Cellini, J. (2002).** Thinning schedules to reduce risk of windthrow in *Nothofagus pumilio* forests of Patagonia, Argentina. *Bosque, Valdivia*. 23 (2) 19-28.
- Pretzsch, H. (2009).** Forest Dynamics, Growth and Yields: From Measurements to Model. Berlin, Germany. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 695 p.
- Reineke, L.H. (1933).** Perfecting a Stand Density Index for Even Aged Forests. *Journal of Agricultural Research*.
- Reyes, R., Donoso, P., Donoso, C., Navarro, C. (2009).** Crecimiento de renovales de *Drimys winteri* después de 16 años de aplicados distintos tratamientos de raleo en las cordilleras de Los Andes y de la Costa en Chile. *Bosque* 30(3): 117-126.
- Saunders, M., Puettmann, K. (2000).** A preliminary White Spruce density management diagram for the lake states. *Minnesota. Staff papers series N° 145*. 15 p.
- Shaw, J., Long, J. (2007).** Density management diagram for Longleaf Pine stands with application to Red-Cockaded Woodpecker habitat. South. *Journal of Applied Forestry* 31(1): 28-38
- Souter, R. (2000).** Bosque Nativo Chileno: Un recurso para el desarrollo. Santiago, Chile. 92 p. (Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo, CONAF-GTZ)
- Urzúa, D. y Poblete, H. (1980).** Factibilidad técnica de la producción de tableros de partículas utilizando especies que crecen en los terrenos Ñadi. Informe de convenio N° 29. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.
- Vera, O. (1985).** Evaluación de intervenciones silvícolas en un renoval mixto de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl) Krasser) y Coigüe (*Nothofagus*

dombeyi (Mirb). Oerst) ubicado en la Reserva forestal Coyhaique, XI Región, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.

Vacchiano ,G., Motta, R., Long, J., Shaw, J. (2008). A density management diagram for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.): A tool for assessing the forest's protective effect. *Forest ecology and management* 10871:1-13.

Venegas, J. (1999). Estudio de La Ley de $-3/2$ c de Auto-Raleo en Renovales de *Drimys winteri* Forst. en la X Región". Tesis de Grado Ingeniería Forestal. Temuco, Chile. Facultad de recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco. 65 p.

CONCLUSIONES GENERALES

7. Conclusiones Generales.

1. Los bosques de segundo crecimiento de *Drimys winteri* cubren una superficie de 252.000 hectáreas y se encuentran en estados de desarrollo de monte bravo, latizal y fustal, dominando las coberturas densas y semidensas y clase de altura entre los 4 a 12 metros de altura.
2. El 1% de la superficie de los bosques de *D. winteri* corresponden a sitios de alta productividad, el 39% a sitios de productividad media, el 25% a sitios de productividad baja y el 35% a sitios de productividad muy baja.
3. El estudio determinó que 100 mil hectáreas son asignables a la producción de trozas de calidad, 60 mil hectáreas potenciales para la industria de la energía y tableros y 90 mil hectáreas deben orientarse exclusivamente a la producción de servicios ecosistémicos.
4. Las respuestas positivas en crecimiento a nivel de árbol en raleos (*claras*) tardíos, da cuenta del potencial de los bosques de *D. winteri* para orientarlos a la producción de trozas de calidad para la industria del aserrío y de chapas, produciendo un aumento significativo del valor del árbol y del bosque después de 21 años de aplicadas las intervenciones.
5. La aplicación de raleos (*claras*) tardíos fuertes y moderados produce cambios estructurales, reduciendo la diversidad y aumentando la homogeneidad respecto del tratamiento control.
6. El tratamiento factible de ser recomendado a escala operacional es el raleo moderado, que significa aplicar un raleo por lo bajo grado C dejando una densidad residual de 2.500 árboles por hectárea o niveles de densidad relativa del orden del 40%, aplicar un segundo raleo 10 años después para un sitio de productividad media o cuando el rodal alcance

una densidad relativa de 45%, dejando 1.000 árboles por hectárea o densidades relativas de 35%.

7. No resulta recomendable aplicar raleos tardíos de intensidad fuerte en estos bosques, aún cuando se observa relación directa entre intensidad de raleo y valor del árbol, esto produce una disminución a nivel de bosque por las pérdidas por viento de los árboles residuales.
8. El estudio evidencia que *D. winteri* es una especie que responde positivamente a raleos tardíos, aumentando su rentabilidad respecto de los no intervenidos. La intensidad de raleo fuerte (E2) es el que presenta mayor rentabilidad, mientras que el tratamiento de intensidad moderada presenta un mayor rendimiento en volumen total y una rentabilidad levemente inferior a los raleos de mayor intensidad.
9. El alto nivel de competencia de estos bosques expresado por su mortalidad natural, requiere de intervenciones de raleo, ya sea para la maximización del volumen o del VNP. Bajo este escenario, el tratamiento recomendable de llevar a escala operacional es el raleo moderado, que obtiene rentabilidades levemente inferiores a los tratamientos de mayor intensidad, y genera una menor mortalidad por efectos del viento.
10. La evaluación financiera del manejo en bosques secundarios debe considerar que éste se forma naturalmente, por lo que no existen gastos de administración antes de la primera intervención, no existe inversión inicial para que el bosque se forme y se generan ingresos con el primer raleo, produciéndose en ese caso rentabilidades positivas y un aumento en volumen de los productos de mayor precio. En caso contrario al considerar los costos de administración desde la formación del bosque, los resultados de rentabilidad son negativos.

11. La tecnología silvicultural tardía recomendable para la producción de trozas de calidad en bosques secundarios de *D. winteri* de productividad media, debe considerar para rentabilizar el esfuerzo silvícola rotaciones mayores a 52 años.
12. Es factible desarrollar un DMD de segundo nivel de complejidad para renovales de *D. winteri* en Chile, basado en los marcos teóricos del principio de autorraleo y la experiencia de su elaboración en otras especies a nivel mundial, con errores aceptables para la planificación y control de tecnologías silvícolas.
13. Los límites de densidad relativa para bosques de segundo crecimiento de *D. winteri*, que definen las zonas de sobreutilización, utilización completa, subutilización y crecimiento libre, corresponden a 0,55; 0,40; 0,30 y 0,15 respectivamente.
14. La planificación de raleos tardíos en renovales de *D. winteri*, en sitios de productividad media, utilizando el DMD y basado en la experiencia de ensayos de raleos y manejos operacionales, hacen recomendable mantener niveles de ocupación de sitio entre las zonas de subutilización (IDR de 30 %) y la de inminente mortalidad por competencia (IDR de 45 %), realizando al menos tres raleos para alcanzar un rodal meta que permita aportar productos aserrables y debobinables a una edad no menor a los 52 años para el sitio analizado. Esto reduce el riesgo de caída de árboles por viento y la pérdida de producción física del sitio.